

**EIN BEITRAG ZUR RENALEN ELEKTROLYTAUSSCHIEDUNG
WACHSENDER MASTKÄLBER**

Martin Wandi

1975

Dissertationsdruck

Blasaditsch GmbH • 89 Augsburg 17 • Theodor-Heuß-Platz 3 • Telefon (0821) 51 85 63

Aus dem Institut für Physiologie, Physiologische
Chemie und Ernährungsphysiologie im Fachbereich
Tiermedizin der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. H. Zucker

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Priv. Doz. Dr. J. Gropp

EIN BEITRAG ZUR RENALEN ELEKTROLYTAUSSCHIEDUNG
WACHSENDER MASTKÄLBER

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
des Fachbereichs Tiermedizin der
Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Martin Wandl
aus
Passau

München 1975

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Tiermedizin der Universität München

Dekan:	Prof. Dr. B. Vollmerhaus
Referent:	Priv. Doz. Dr. J. Gropp
Koreferent:	Prof. Dr. Dr.h.c. L. Kotter

Tag der Promotion: 18. Juli 1975



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 EINLEITUNG	1
2 MATERIAL UND METHODEN	3
2.1 Versuchstiere	3
2.2 Fütterung der Versuchstiere	3
2.3 Quantitative Harnsammlung	6
2.4 Mineralstoffbestimmung	7
2.4.1 Natrium- und Kaliumbestimmung	7
2.4.2 Chloridbestimmung	8
2.4.3 Calciumbestimmung	9
2.4.4 Magnesiumbestimmung	11
2.4.5 Phosphorbestimmung	12
2.5 Statistische Methoden	13
3 NATRIUM UND CHLORID	15
3.1 Literaturübersicht	15
3.2 Eigene Untersuchungen	21
(Ergebnisse und Diskussion)	
4 KALIUM	30
4.1 Literaturübersicht	30
4.2 Eigene Untersuchungen	36
(Ergebnisse und Diskussion)	
5 CALCIUM	39
5.1 Literaturübersicht	39
5.2 Eigene Untersuchungen	43
(Ergebnisse und Diskussion)	
6 PHOSPHOR	47
6.1 Literaturübersicht	47
6.2 Eigene Untersuchungen	55
(Ergebnisse und Diskussion)	
7 MAGNESIUM	62
7.1 Literaturübersicht	62
7.2 Eigene Untersuchungen	64
(Ergebnisse und Diskussion)	

	Seite
8 ABSCHLIESSENDE BETRACHTUNGEN	70
9 ZUSAMMENFASSUNG	76
SUMMARY	78
10 LITERATURVERZEICHNIS	80
LEBENS LAUF	101

1 EINLEITUNG

Dem Mastkalb kommt aus ernährungsphysiologischer Sicht eine Sonderstellung zu. Obwohl das Kalb zur Familie der Wiederkäuer gehört, muß es entsprechend dem Ablauf seiner Verdauungsvorgänge funktionell monogastrischen Säugern zugeordnet werden.

Weil ausschließliche Milchernährung früher nur eine kleine Zeitspanne in der Entwicklung des Kalbes zum Wiederkäuer ausmachte und Kälbermast auch nur über eine relativ kurze Fütterungsperiode betrieben wurde, hat die Säuglingsphase des Mastkalbes nur ein verhältnismäßig geringes wissenschaftliches Interesse gefunden.

Der Säuglingsstatus des Mastkalbes wird in der Kälbermast heute aber über 3-4 Monate aufrechterhalten. Physiologische und ernährungsphysiologische Kenndaten dieses älteren Kalbes fehlen aber weitgehend, da einschlägige Kenntnisse über Kälber dieser Altersklasse fast nur an bereits ruminierenden Tieren gewonnen wurden. Unterschiede beispielsweise in der Nährstoffverwertung oder im Elektrolythaushalt, die in dieser Altersstufe im Vergleich zum Saugkalb oder auch zu adulten Wiederkäuern gefunden wurden, lassen sich daher nur der Summe beziehungsweise der Interaktion von Alter und Vormagenentwicklung zuschreiben; eine eindeutige Trennung beider Einflüsse ist nicht möglich.

Im Rahmen umfassender Untersuchungen zur physiologischen Kennzeichnung des Mastkalbes am Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und Ernährungsphysiologie im Fachbereich Tiermedizin der Universität München sollten daher auch basale Daten über den Elektrolythaushalt des Mastkalbes erfaßt werden.

Damit sollte nicht nur eine Lücke im vorhandenen

Wissen geschlossen werden. Ausreichende Kenntnisse über die renale Elektrolytausscheidung bei gesunden Kälbern stellen vielmehr auch eine Voraussetzung zur Lösung klinischer Probleme, wie etwa Durchfallerscheinungen, dar. Darüber hinaus können sie einen wichtigen Beitrag zur Erarbeitung physiologischer Tränksysteme des Mastkalbes darstellen. Hier stellt die Milchtränke gleichzeitig auch die einzige Art der Wasseraufnahme dar. Die Tätigkeit der Niere ist daher bei der Elektrolytausscheidung und damit auch der Regulierung des Säure-Basen-Haushaltes von einem begrenzten Wasserangebot abhängig.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Versuchstiere

Die vorliegenden Untersuchungen wurden an 12 männlichen Höhenfleckviehkälbern durchgeführt, deren mittleres Körpergewicht bei Versuchsbeginn 72.2 kg und bei Versuchsende 159.6 kg betrug.

2.2 Fütterung der Versuchstiere

Die Kälber erhielten ein Milchaustauschfutter (Zusammensetzung s. Tab. 1), dessen Gehalt an Mineralstoffen und Rohprotein analytisch ermittelt wurde (s. Tab. 2).

Tabelle 1: Milchaustauschfutterzusammensetzung (%)

Milchaustauschfutter I: 72.2-101.5 kg KG

Milchaustauschfutter II: 101.5-159.6 kg KG

Futterumstellung: 4. Versuchswoche

	Mast I	Mast II
Trockenmagermilchpulver ¹⁾	50.00	35.00
Trockenmagermilchpulver ²⁾	15.00	10.00
Futterfett	20.00	20.00
Süßmolkenpulver	11.00	31.00
Maisquellstärke	3.00	2.50
Lysin-HCl	----	0.05
CaHPO ₄ · 2 H ₂ O	0.40	0.70
MgCl ₂ · 7 H ₂ O	0.10	0.10
MgO	0.10	0.10
Vitamin-, Wirkstoff- und Spurenelement- Vormischung ³⁾	0.40	0.55
	100.00	100.00

- 1) Walzen-Trockenmagermilchpulver
- 2) Sprüh -Trockenmagermilchpulver
- 3) enthält (pro kg der fertigen Mischung) in

4.0 g (Mast I) 5.5 g (Mast II)

CTC	80 mg	-----
ZBA	-----	20 mg
CuSO ₄ • 5 H ₂ O	20 mg	20 mg
ZnSO ₄ • 7 H ₂ O	100 mg	100 mg
MnSO ₄ • H ₂ O	110 mg	110 mg
FeSO ₄ • 7 H ₂ O	124 mg	-----

Vitamin A 30 000 IE, Vitamin D₃ 3 750 IE,
 Vitamin E 100 mg, Vitamin K₃ 3 mg, Thiamin 10 mg,
 Riboflavin 6 mg, Pyridoxin 4 mg,
 Vitamin B₁₂ 30 mcg, Ca-Pantothenat 20 mg,
 Nicotinsäure 50 mg, Folsäure 0.1 mg,
 Biotin 0.05 mg, Cholinchlorid 200 mg

Die Fütterung erfolgte individuell nach Körpergewicht (zweimal täglich um 7.00 und um 16.00 Uhr). Die Futterzumessung ist dem Tränkplan (s. Tab. 3) zu entnehmen.

Tabelle 2: Mineralstoff- und Rohproteingehalt (% der Futtersubstanz) der Versuchsrationen

	Rohprotein	Natrium	Chlorid	Kalium	Calcium	Magnesium	Phosphor
Mast I	25.4	0.38	1.13	1.27	0.90	0.14	0.74
Mast II	21.8	0.41	1.23	1.30	0.91	0.15	0.78

Tabelle 3: Tränkplan

Versuchswoche	Fütterungswoche	Milchhaustauschfutter/Tag in % des Körpergewichtes	g Milchhaustausch- futter/l Tränke
1	3	1.85	170
2	4	2.00	170
3	5	2.10	190
4	6	2.20	220
5	7	2.20	230
6	8	2.20	240
7	9	2.00	240
8	10	1.95	240
9	11	1.90	240

2.3 Quantitative Harnsammlung

Die Harnsammlung erfolgte während eines Fütterungsversuches bei normaler Aufstallung (Anbindestall, auf Lattenrost), mit Hilfe von Urinalen.

Hauptbestandteil dieser Vorrichtung ist ein biegsamer Gummitrichter, der das ostium praeputiale dicht umschließt und dessen oberer, dem Tier anliegende Rand durch eine Polyäthylenplatte versteift wird. Die Befestigung erfolgt mittels zweier elastischer Gurte über den Rücken des Tieres. Der Harn wird durch den Gummitrichter und einen PVC-Schlauch in verschlossene Polyäthylen-Sammelgefäße geleitet.

Die Harnsammelgefäße wurden täglich um 9.00 Uhr entleert und die Harnmenge gemessen. Nach gründlichem Durchmischen des 24-Stundenharnes wurde eine Probe (100 ml) für die Chloridbestimmung entnommen. Anschließend wurde der verbleibende Harn mit 25 ml HCl/l (HCl conc., MERCK 317 : aqua dest. = 1 : 1) versetzt, um das Ausfallen zweiwertiger Kationen zu verhindern und eine weitere Probe (100 ml) entnommen.

Sämtliche Harnanalysen wurden unmittelbar im Anschluß an die Probenahme durchgeführt und waren am Abend des gleichen Tages beendet.

2.4 Mineralstoffbestimmung

2.4.1 Natrium- und Kaliumbestimmung

Die Natrium- und Kaliumbestimmung im Blutplasma und Harn erfolgte mit dem Flammenphotometer IL 343⁺ (Instrumentation Laboratory Inc., Lexington, Mass., USA). Das Gerät verdünnt die Plasma- und Harnproben automatisch mit aqua dest. (1 : 200), mißt die Lichtemission der durch eine Propanflamme angeregten Na- und K-Atome bei Wellenlängen von 589, beziehungsweise 766 nm und vergleicht sie mit der Emissionsintensität von Standardlösungen, die 322 mg Na/100 ml und 19.6 mg K/100 ml (für die Na- und K-Bestimmung im Plasma), bzw. 230 mg Na/100 ml und 391 mg K/100 ml (für die Na- und K-Bestimmung im Harn) enthalten. Die Standardlösungen werden vor der Analyse ebenfalls automatisch mit aqua dest. verdünnt (1 : 200).

Um Schwankungen der Anregungstemperatur und der Durchflußrate oder chemische Interferenzen auszugleichen, werden die Emissionswerte der Proben und Standardlösungen bei jeder Messung mit der Emissionsintensität eines inneren Lithiumstandards (15 mAq/l) verglichen. Die Anzeige der Ergebnisse erfolgt digital.

Zur Na- und K-Bestimmung im Milchaustauschfutter wurden etwa 10 g der Probe in Veraschungstiegel eingewogen und bei 550°C über Nacht im Muffelofen verascht. Nach Erkalten wurden etwa 500 mg Asche in Bechergläser eingewogen, mit HCl conc. befeuchtet und die Proben auf dem Sandbad bis zur Trockne eingedampft. Der Rückstand wurde mit verdünnter HCl (HCl conc. : aqua dest. = 1:1) unter Erwärmen aufgenommen und durch ein Weißbandfilter in 100 ml-Meßkolben filtriert. Nach dem Erkalten wurden die

Meßkolben mit aqua dest. bis zur Marke aufgefüllt. Die salzsauren Aschelösungen wurden unter Zugabe von 10 % (v/v) eines Caesiumchlorid-Aluminiumnitratpuffers (MERCK 2037) nach SCHUHKNECHT und SCHINKEL (1963) im Verhältnis 1 : 100 (Na-Bestimmung), bzw. 1 : 250 (K-Bestimmung) verdünnt. Die Messung der Na- und K-Konzentration erfolgte mit dem Eppendorf-Flammenphotometer. Zum Vergleich diente eine Standardlösung (MERCK 9985), die so verdünnt wurde, daß sie 10 ppm Natrium und 10 ppm Kalium enthielt (Meßbereich für Na und K = 0-10 ppm). Die Pufferlösung nach SCHUHKNECHT und SCHINKEL soll durch Verdampfungsbehinderung, Anregungsbeeinflussung und Querempfindlichkeit hervorgerufene Störungen bei der flammenphotometrischen Na- und K-Bestimmung beseitigen.

In den Versuchsrationen wurde der Na- und K-Gehalt jeweils 15 mal bestimmt. Dabei ergaben sich folgende Werte (% der Futtersubstanz):

Na (Mast I) : $0.377 \pm 0.010 = \pm 2.60 \%$

Na (Mast II) : $0.408 \pm 0.015 = \pm 3.59 \%$

K (Mast I) : $1.272 \pm 0.037 = \pm 2.93 \%$

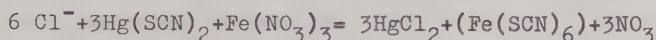
K (Mast II) : $1.302 \pm 0.044 = \pm 3.35 \%$

2.4.2 Chloridbestimmung

Die Chloridbestimmung im Plasma und Harn erfolgte mit dem Chloridanalysengerät IL 279 (Instrumentation Laboratory Inc., Lexington, Mass. USA)⁺

⁺Herrn Dr. K. Kölling, Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und Ernährungsphysiologie im Fachbereich Tiermedizin der Universität München wird für die Bereitstellung der Geräte zur Na-, K- und Cl-Bestimmung gedankt.

Die unverdünnten Plasma- und Harnproben werden automatisch angesaugt, verdünnt und analysiert. Die analytische Methode beruht auf folgendem Reaktionsablauf.



Die Extinktion des Eisen-Thiocyanatkomplexes wurde, als Maß für die Chloridkonzentration, bei einer Wellenlänge von 525 nm gemessen. Der Meßbereich des Gerätes liegt zwischen 0 und 710 mg Cl/ 100 ml.

Zur Cl-Bestimmung im Milchaustauschfutter wurden 5 g der Probe in einen 500 ml-Meßkolben eingewogen, mit 300 ml aqua dest. vermischt und 1-2 Stunden geschüttelt. Danach wurden zur Enteiweißung 10 ml 15 %ige Kaliumferrocyanidlösung und 10 ml 23 %ige Zinkacetatlösung zugegeben, erneut geschüttelt, der Meßkolben bis zur Marke mit aqua dest. aufgefüllt und der Inhalt dann durch ein Weißbandfilter filtriert. Zu einer Vorlage von jeweils 25, 50 und 75 ml des Filtrates wurde 1 ml 5 %ige Kaliumchromatlösung als Indikator gegeben und die Vorlage mit N/10 AgNO_3 bis zum Farbumschlag von gelb nach braunorange titriert. Der Chloridgehalt des Milchaustauschfutters ergibt sich aus der folgenden Beziehung:

$$\% \text{ Cl} = \frac{\text{ml N/10 AgNO}_3 \cdot 3.55}{10 \cdot \text{g Futter in der Vorlage}}$$

2.4.3 Calciumbestimmung

Zur Calciumbestimmung im Blutplasma wurden die Plasmaproben mit Verdünnungslösung nach Hermann (MERCK 9975) im Verhältnis 1:20 verdünnt. Die Verdünnungs-

lösung enthält ein Netzmittel und gleicht die physikalischen Eigenschaften (z.B. Viskosität) des Plasmas und der Eichlösung einander an. Die Messung der Ca-Konzentration erfolgte mittels Atomabsorptionsspektralphotometrie (AAS) mit dem Gerät M4QIII/FA2 der Fa. Carl Zeiss unter den folgenden apparativen Bedingungen:

Wellenlänge	:	422.7 nm
Brenngas	:	Acetylen
Spaltbreite	:	0.01 mm
Hohlkathodenstrom	:	10 mA

Die Vergleichslösung (MERCK 9976) enthielt 10 mg Ca, 330 mg Na, 15 mg K und 2 mg Mg /100 ml und wurde ebenso wie das Plasma mit Verdünnungslösung im Verhältnis 1 : 20 verdünnt (Meßbereich : 5 ppm Ca). Zur Qualitätskontrolle diente ein Kontrollserum (Precinorm S, BOEHRINGER 15919) mit dem Sollgehalt von 9.8 mg Ca/100 ml, das in jeder Meßreihe mitgeführt wurde. Bei 30 Bestimmungen ergab sich hierfür ein mittlerer Ca-Gehalt von 9.7 mg/100ml $\pm$ 2.9% (Richtigkeit 99%).

Die Ca-Bestimmung im Harn erfolgte ähnlich wie diejenige im Plasma. Vor der AAS-Messung wurden die mit HCl angesäuerten Harnproben unter Zusatz von 1 % Lanthan zur Ausschaltung von Querstörungen (Lanthan als La_2O_3 , MERCK 12220) im Verhältnis 1 : 1 bis 1 : 10 mit aqua dest. verdünnt. Zum Vergleich dienten Eichlösungen mit Ca-Gehalten zwischen 2 und 10 ppm, die ebenfalls 1 % Lanthan enthielten.

Die Ca-Bestimmung im Milchaustauschfutter erfolgte manganometrisch, d.h., die in Ca-Oxalat gebundene Oxalsäure wird durch KMnO_4 titrimetrisch bestimmt und aus dem Oxalsäuregehalt der Ca-Gehalt berechnet.

Hierzu wurden etwa 200 mg Asche in ein Becherglas eingewogen, mit HCl conc. befeuchtet, auf dem Sandbad bis zur Trockene eingedampft, danach unter Erwärmen mit verdünnter Salzsäure (s. S.7) aufgenommen und durch ein Weißbandfilter in ein Becherglas filtriert. Das Filtrat wurde mit 5 ml HCl conc. erneut angesäuert, mit einigen Tropfen Methylrot versetzt und bis kurz vor dem Sieden erhitzt. Danach wurden etwa 3 g Ammoniumoxalat zugegeben und das Ca durch langsames Zutropfen einer conc. NH_3 -Lösung ausgefällt. Anschließend wurde das Ca-Oxalat abfiltriert und mit etwa 50 ml heißem aqua dest. + 50 ml 20 %iger H_2SO_4 versetzt. Die Lösung wurde kurz aufgeköcht und noch heiß mit N/10 KMnO_4 titriert, bis eine schwache Rosafärbung etwa 1 Minute lang bestehen blieb. Der Ca-Gehalt in der Futterasche ergibt sich nach folgender Beziehung:

$$\% \text{ Ca} = \frac{\text{ml N/10 KMnO}_4 \cdot 2.004 \cdot 100}{\text{Einwaage in mg}}$$

2.4.4 Magnesiumbestimmung

Die Mg-Bestimmung im Blutplasma erfolgte mittels AAS aus den zur Ca-Bestimmung verdünnten Plasmaproben unter folgenden apparativen Bedingungen:

Wellenlänge	:	285.2 nm
Brenngas	:	Acetylen
Spaltbreite	:	0.1 mm
Hohlkathodenstrom	:	6 mA

Zum Vergleich diente die gleiche Eichlösung wie zur Ca-Bestimmung (s. 2.4.3), der Meßbereich lag bei

1 ppm Mg. Das mitgeführte Kontrollserum (s. 2.4.3) ergab bei 30 Bestimmungen 2.31 mg Mg /100 ml $\pm 1.64 \%$ (Sollwert : 2.32 mg /100 ml; Richtigkeit 99.6%)

Zur Mg-Bestimmung im Harn wurden die angesäuerten Harnproben so mit aqua dest. verdünnt (1 : 10 bis 1 : 400), daß die Mg-Konzentration zwischen 0.5 und 1.5 ppm lag. Zur Ausschaltung von Querstörungen wurde den Harnproben bei der Verdünnung 0.25 % Strontium (als $\text{Sr}(\text{NO})_3$, MERCK 7872) zugesetzt.

Die Mg-Bestimmung im Milchaustauschfutter erfolgte ebenfalls mittels AAS aus den zur Na-Bestimmung hergestellten, salzsauren Aschelösungen. Vor der Messung wurden die Proben unter Zusatz von 0.25 % Strontium im Verhältnis 1 : 50 mit aqua dest. verdünnt (Meßbereich 0.5 bis 1.5 ppm Mg).

Bei jeweils 15 Bestimmungen pro Versuchsration wurden folgende Ergebnisse erzielt (% der Futtersubstanz) :

Mast I : $0.137 \pm 0.0036 = \pm 2.64 \%$

Mast II : $0.145 \pm 0.0040 = \pm 2.76 \%$

2.4.5 Phosphorbestimmung

Die Phosphorbestimmung (anorg. P) im Blutplasma erfolgte nach Enteiweißung mit 0.6 N Trichlor-essigsäure im eiweißfreien Filtrat nach der Molybdat-Vanadat-Methode. Hierbei entsteht durch den Einbau des Phosphors in die Isopolysäuren des Vanadiums und Molybdäns eine Heteropolysäure, die unter den gewählten Reaktionsbedingungen gelb gefärbt ist. Ihre Extinktion (405 nm) wurde mit einem Eppendorf-Photometer gemessen und mit der

Extinktion eines P-Standards verglichen. Im Kontrollserum, das ebenfalls Eiweiß enthält, ergab diese Methode bei 10 Bestimmungen 5.33 mg P/100 ml $\pm$ 2.14 % (Sollwert 5.35 mg P / 100 ml; Richtigkeit 99.6 %).

Die P-Bestimmung im Harn erfolgte, ohne vorherige Enteiweißung, nach der gleichen Methode. Die angesäuerten Harnproben wurden vor der Analyse im Verhältnis 1 : 5 und 1 : 10 mit aqua dest. verdünnt.

Die P-Bestimmung im Milchaustauschfutter erfolgte ebenfalls nach der Molybdat-Vanadat-Methode.

Hierzu wurden etwa 100 mg Asche in einem Becherglas 2 mal mit HCl conc. auf dem Sandbad bis zur Trockene eingedampft, der Rückstand mit 5 ml HNO₃ conc. + 5 ml HCl conc. + 10 ml H₂O aufgenommen, 5 Minuten gekocht, danach mit aqua dest. verdünnt und durch ein Weißbandfilter in einen 250-ml Meßkolben filtriert. Die photometrische Bestimmung erfolgte wie bei der P-Bestimmung in Plasma und Harn.

2.5 Statistische Methoden

Aus den Einzelwerten einer Meßreihe wurde der Mittelwert gebildet und dessen Standardabweichung berechnet:

$$s = \pm \sqrt{\frac{Sx^2 - \frac{(Sx)^2}{n}}{n - 1}}$$

s = Standardabweichung

S = Summe

x = Einzelwert

n = Zahl der Einzelwerte

$\bar{x}$ = Mittelwert aller Einzelwerte

Zum Vergleich von Standardabweichungen verschiedener Meßreihen untereinander wurde der Variationskoeffizient (s%) berechnet :

$$s\% = \frac{s \cdot 100}{\bar{x}}$$

Um den Grad des Zusammenhanges zwischen Stichprobenwerten der Zufallsvariablen x und y zu bestimmen, wurde der Korrelationskoeffizient r nach Pearson-Bravais berechnet. Zur Prüfung der errechneten Beziehung zwischen y und x auf Signifikanz wurde der Korrelationskoeffizient r in folgende, von R.A. FISHER (OTTO, 1958) aufgestellte Gleichung eingesetzt.

$$t = \frac{r}{\sqrt{1 - r^2}} \cdot \sqrt{n - 2}$$

3. N A T R I U M U N D C H L O R I D

3.1 Literaturübersicht

Die Natriumkonzentration im Blutplasma von Rindern und Schafen ist weitgehend unabhängig von der Natriumversorgung. Selbst bei deutlichem Na-Mangel, wie ihn MORRIS und GARTNER (1971) bei wachsenden Bullen durch Verfütterung einer Ration mit nur 0.003 % Na hervorriefen, konnte kein Absinken der Na-Werte im Plasma beobachtet werden. Auch bei NaCl-Belastungsversuchen an Schafen -hier wurde der Na-Gehalt des Futters bis auf 5.1 % der Futter-trockensubstanz gesteigert- blieb die Na-Konzentration des Plasmas unbeeinflusst (MEYER und WEIR, 1954; MOSELEY und JONES, 1974). Ebenso verhielten sich Na^+ und Cl^- im Plasma einer Milchkuh, die bis zu 500 g NaCl /Tag erhielt (HELFFERICH und LENKEIT, 1965; PFEFFER et al., 1965).

Tabelle 4: Mittlere Na- und Cl-Konzentrationen
im Blutplasma von Kälbern

Tierzahl	Na (mg/100ml)	Cl (mg/100ml)	Quelle
10 Saugkälber	308	332	VOGEL, 1962
10 Kälber	318	374	KAEMMERER et al. 1972
65 Kälber	326	356	FISHER, 1960

Es muß allerdings hervorgehoben werden, daß bei diesen NaCl-Belastungsversuchen Wasser ad lib. zur Verfügung stand. Bei limitierter Wasserversorgung und

noch durch Gastroenteritiden erhöhten Wasserverlusten können Hypernatraemien (bei Säuglingen bis zu 561 mg Na /100 ml Plasma) mit tödlichem Ausgang auftreten (COLLE et al., 1958).

Die Menge der im Harn ausgeschiedenen Elektrolyte wird im wesentlichen von zwei in der Niere ablaufenden, physiologischen Prozessen bestimmt:

- a. von der glomerulären Filtration
- b. von tubulären Transportvorgängen
(Rückresorption und Sekretion)

Die Natrium- und Chloridionen des Blutplasmas können bei der Filtration das "glomeruläre Sieb", dessen mittlerer Porenradius $29 \pm 10 \text{ \AA}$ beträgt (ULLRICH, 1973), ungehindert passieren. Daher ist die Natrium- und Chloridmenge $[\text{mg/min}]$, die in den anschließenden proximalen Tubulus gelangt, dem Produkt aus glomerulärer Filtrationsrate $[\text{ml/min}]$ und Na-, bzw. Cl-Konzentration $[\text{mg/ml}]$ im Blutplasma gleichzusetzen.

Unsere Kenntnisse über die Na-Transportprozesse im Nierentubulus konnten während der letzten zehn Jahre beträchtlich erweitert werden. Von der im Anschluß an die glomeruläre Filtration in den Nierentubulus eintretenden NaCl- und Wassermenge werden im proximalen Abschnitt etwa 2/3 rückresorbiert (DE WARDENER, 1973).

Die Natriumrückresorption im proximalen Tubulus erfolgt zu etwa 60 % passiv. Die treibenden Kräfte für den passiven Transport sind elektrochemische Potentialdifferenzen, bzw. Konzentrationsdifferenzen (Diffusion) und ein sogenannter "solvent drag". Man versteht hierunter die Wechselwirkung (z.B. Reibung) der Na- und Cl-Ionen mit dem durch die Tubulusmembran dringenden Wasser. Das durch passive Transportprozesse rückresorbierte Natrium dringt mit Chlorid und Wasser durch die Schluß-

leisten der Tubulusmembran in die Zwischenzellspalte. Es folgt damit einem an den Tubuluszellen vorbeiführenden, "parazellulären" Weg.

Den nicht durch Diffusion und solvent drag angetriebenen Anteil der Na-Rückresorption bezeichnet man als "aktiven Transport". Letzterer erfolgt gegen ein Konzentrationsgefälle und ist daher an energieliefernde Stoffwechselprozesse gebunden. Das auf diese Weise aus dem proximalen Tubulus entfernte Natrium dringt zunächst in die Tubuluszelle ein und wird dann aktiv aus der Zelle heraus in die Zwischenzellspalte gepumpt, dabei folgen HCO_3^- -Anionen dem Na^+ nach. Der aktiv transportierte Na-Anteil folgt also einem durch die Tubuluszelle hindurchführenden, "transzellulären" Weg (ULLRICH, 1973). Der aktive NaHCO_3 -Transport aus der Tubuluszelle in die Zwischenzellspalte erhöht dort die NaHCO_3 -Konzentration. Damit kann erneut Wasser aus dem Tubuluslumen in die Zwischenzellspalte einströmen und seinerseits wieder NaCl durch solvent drag mitreißen. Auf diese Weise treibt der aktive den passiven Na-Transport an (ULLRICH, 1973).

Die im Endharn ausgeschiedene Natriummenge steht in enger Beziehung zum Natriumversorgungsstatus eines Tieres. So kann der Harn bei Mangelzuständen praktisch natriumfrei werden. Bei 15 Monate alten Bullen, die 88 mg Na/Tag erhielten, wurden Minimalkonzentrationen um 2 mg/l Harn erreicht (MORRIS und GARTNER, 1971). Andererseits wurden von einer Milchkuh, die 200 g Na/Tag aufnahm, 6300 mg Na/l Harn ausgeschieden (HELFFERICH und LENKEIT, 1965). Diese erhebliche Anpassungsfähigkeit der renalen Natriumausscheidung an die Na-Bedürfnisse des Tieres wird im wesentlichen durch Veränderungen im Na-Transport durch den distalen Tubulus erreicht. Hier kann die Rückresorption der noch ver-

bleibenden Na-Menge (ca. 40 % des Filtrates) nahezu vollständig sein, um den Na-Bestand des Körpers möglichst aufrechtzuerhalten. Im entgegengesetzten Fall wird sie soweit gedrosselt, daß überschüssiges Natrium mit dem Harn eliminiert werden kann.

Die Na-Rückresorption im distalen Tubulus unterliegt vor allem der Kontrolle durch das Nebennierenrindenhormon Aldosteron, dessen gesteigerte Sekretion zur Steigerung des aktiven Natriumtransportes aus dem distalen Tubulus führt (LARAGH und SEALEY, 1973; SHARP und LEAF, 1973).

In neuerer Zeit ist man der Meinung, daß die Na-Ausscheidung im Harn nicht allein von der filtrierten Na-Menge und dem Aldosteroneinfluß bestimmt werden kann. Zusätzlich sollen physikalische und haemodynamische Faktoren, wie hydrostatischer und onkotischer Blutdruck und die Verteilung des Blutflusses innerhalb der Niere an der Regulation der renalen Na-Ausscheidung beteiligt sein (EARLY und SCHRIER, 1973). Außerdem gibt es zahlreiche experimentelle Hinweise auf die Existenz eines speziellen natriuretischen Hormons (KRAMER et al., 1972).

Bei Mensch und Tieren mit einhöhligen Magen ist für die gesamte Natrium- und Chloridausscheidung des Körpers in quantitativer Hinsicht fast ausschließlich die Niere von Bedeutung (DE WARDENER, 1973). Bei Wiederkäuern liegen dagegen gänzlich andere Verhältnisse vor, denn hier entfällt ein erheblicher Prozentsatz der gesamten Natriumausscheidung auf den Enddarm. Aus 4 Untersuchungen an Rindern und Schafen geht hervor, daß bei diesen beiden Tierarten 22 - 60 % der Natriumausscheidung auf faecalem Wege erfolgen (L'ESTRANGE und MURPHY, 1972; BÖHME, 1970; HELFFERICH et al., 1965; DELVIN und ROBERTS, 1963). In Bilanzuntersuchungen an 127

trockenstehenden und nicht tragenden Rindern (LOMBA et al., 1969) wurden sogar nur 27.4 % des Natriums im Harn und 72.6 % mit den Faeces ausgeschieden. Ein Grund für diese Speziesunterschiede mag sein, daß auch die Wasserbilanz des Rindes wesentlich von der faecalen Wasserausscheidung mitbestimmt wird. Bei 219 nicht tragenden und nicht laktierenden Rindern wurden in Harn und Faeces zusammen im Mittel 25 kg Wasser/Tag ausgeschieden. Hiervon entfielen auf den Harn 43.6 % und auf die Faeces 56.4 %. Die Kotkonsistenz lag in allen Fällen im Bereich der physiologischen Norm (PAQUAY et al., 1970). Für Chlorid scheint auch beim Wiederkäuer die Niere der einzig bedeutsame Ausscheidungsweg zu sein. Dies geht besonders deutlich aus NaCl-Belastungsversuchen hervor (s. Tab. 5).

Tabelle 5: Chloridausscheidung bei 4 Bullen
und 6 Lämmern
(NELSON et al., 1955)

	Chlorid- aufnahme (g/Tag)	Chlorid- ausscheidung im Harn (g/Tag)	Chlorid- ausscheidung im Kot (g/Tag)
Bullen	6.0	8.8	0.10
	146.5	143.9	0.08
Lämmer	4.5	6.0	0.01
	26.6	25.9	0.02

Bei einer Milchkuh, deren NaCl-Aufnahme stufenweise von 50 auf 500 g/Tag gesteigert wurde, stieg die Na-Konzentration im Kotwasser von 400 auf 1200 mg/kg an (HELFFERICH und LENKEIT, 1965), während die Chloridkonzentration nahezu unverändert blieb. Allerdings war die via Faeces ausgeschiedene Chloridmenge (789 mg Cl/kg Kotwasser, PFEFFER et al., 1965) wesentlich höher als in den oben aufgeführten Untersuchungen.

Ein Grund für diese unterschiedliche quantitative Ausscheidung von Natrium und Chlorid beim Wiederkäuer über Kot bzw. Harn könnte in den großen Speichelmengen (Rind 50 - 150 l/Tag und deren hoher Na-Konzentration zu suchen sein (BELL, 1972). Bei Na-Mangel des Wiederkäuers sinkt der Na-Gehalt des Speichels ab und steigt bei Verbesserung der Na-Versorgung wieder an (KEMP, 1967/68). Ähnlich verhält sich die Na-Konzentration im Kotwasser (BOEHNCKE, 1971). Es wäre demnach denkbar, daß ein Teil des Speichel-Na als endogener Anteil im Kot ausgeschieden wird. Da das zugehörige Anion im Speichel nicht Cl^- , sondern HCO_3^- ist, ließe sich die geringe Cl-Ausscheidung in den Faeces des Wiederkäuers ebenfalls mit Hilfe dieser Hypothese erklären. Bei funktionell monogastrischen, milchernährten Kälbern und Ziegenlämmern scheinen dagegen gleiche Verhältnisse vorzuliegen wie bei echten Monogastriern, d.h. geringe Na- und Cl-Ausscheidung in den Faeces; die Niere ist Hauptausscheidungsweg. Bei Saugkälbern ($\text{Cl}/\text{Na} = 3.0$) entspricht das Cl/Na-Verhältnis im Harn ebenso dem Cl/Na-Verhältnis der Nahrung wie bei Ferkeln ($\text{Cl}/\text{Na} = 3.1$) und menschlichen Säuglingen ($\text{Cl}/\text{Na} = 2.0$) (VOGEL, 1962; SLATER, 1961).

Bei Durchfällen des milchernährten Kalbes gelten diese Aussagen nicht mehr, denn gegenüber Kälbern mit "normaler" Kotkonsistenz stieg die faecale Na-Ausscheidung in Untersuchungen von BLAXTER und WOOD (1953) um den Faktor 11 an.

3.2. Eigene Untersuchungen (Ergebnisse und Diskussion)

Die wöchentlich einmal gemessene Natriumkonzentration (3. - 8. Versuchswoche) im Blutplasma von Mastkälbern schwankt um den Mittelwert von 327 mg/100 ml und zeigt während des Versuchsablaufs keinerlei auffällige Veränderungen. Die Streuung der Wochenmittelwerte und des Gesamtmittelwertes (± 4 mg Na/100 ml Plasma) ist gering (s.Tab.6)

Die mittlere Chloridkonzentration im Blutplasma betrug 346 ± 12 mg/100 ml. Für Chlorid gilt in ähnlicher Weise wie für Natrium, daß der Blutspiegel während des Untersuchungszeitraumes nur relativ geringfügigen Schwankungen unterlag.

Tabelle 6: Natrium- und Chlorid- Konzentration im Blutplasma von Mastkälbern
(n = 12, 72.2 - 159.6 kg KG)

Versuchswoche	Natrium im Plasma (mg/100 ml $\pm$ s)	Chlorid im Plasma (mg/100 ml $\pm$ s)
3	323 ± 2	337 ± 14
4	326 ± 2	343 ± 6
5	326 ± 2	347 ± 13
6	332 ± 5	347 ± 13
7	330 ± 4	350 ± 10
8	328 ± 4	353 ± 6
Ø	327 ± 4	346 ± 12

Die Na-Ausscheidung im Harn [$\frac{g}{Tag}$] weist dagegen, auch innerhalb einer Versuchswoche, d.h. bei kon-

stanter Na-Zufuhr [g/Tag], Schwankungen auf, wie sie in gleichem Umfang bei keinem der übrigen untersuchten Elektrolyte auftreten. Entsprechende Daten für die Na-, K- und Cl-Ausscheidung [g/Tag] sind deshalb in einer Tabelle (s. Tab. 7) zusammengestellt. Zu einem Teil sind die starken Schwankungen der renalen Na-Ausscheidung von Tag zu Tag zweifellos auf gleichgerichtete Veränderungen der Diurese [l Harn/Tag] zurückzuführen.

Das in diesem Versuch angewandte Tränkregime (Tab. 3) führte mit fortschreitender Versuchsdauer (steigendem Körpergewicht) zu einer immer mehr eingeschränkten Diurese (4.9 l Harn/Tag in der zweiten Versuchswoche, 3.5 l Harn/Tag in der neunten Versuchswoche). Der auf das Körpergewicht bezogene Harnfluß beträgt gegen Versuchsende noch ca. 37 % der Ausgangswerte (1. und 2. Versuchswoche) zu Versuchsbeginn (Tab. 8). Die Reduzierung der renalen Wasserausscheidung tritt noch deutlicher hervor, wenn die ausgeschiedene Harnmenge in % der aufgenommenen Wassermenge angegeben wird (von 69 % in der 2. Versuchswoche auf 37 % in der 9. Versuchswoche) (Tab. 8). Für jede einzelne Versuchswoche (konstante Natriumaufnahme) besteht eine enge, positive Korrelation zwischen Wasser- und Natriumausscheidung. Die zugehörigen Korrelationskoeffizienten liegen zwischen 0.59 und 0.80 ($p < 0.001$).

Als Begründung für die verschieden hohen Tageschwankungen der renalen Natrium- und Chlorid-Ausscheidung lassen sich auch unterschiedliche intestinale Transportvorgänge vermuten. Nach BLAXTER und WOOD (1953) geht die starke Erhöhung der faecalen Natriumausscheidung bei Kälberdurchfällen mit einem gewissen Rückgang der Natriumausscheidung im Harn einher. Es wäre denkbar,

Tabelle 7: Renale Na-, K- und Cl-Ausscheidung von einem Mastkalb
(Kalb Nr.4, 153 kg KG)

Versuchstag	Na-Ausscheidung g/Tag	g/g Kreatinin	K-Ausscheidung g/Tag	g/g Kreatinin	Cl-Ausscheidung g/Tag	g/g Kreatinin
50	12.1	2.2	36.5	5.9	25.6	4.6
51	5.8	1.1	31.0	5.0	25.4	4.6
52	10.5	1.9	34.6	5.6	26.4	4.8
53	6.4	1.0	40.6	5.9	24.0	3.9

Tabelle 8: Renale Wasserausscheidung von Mastkälbern
(n = 12; 72.2 - 159.6 kg)

Versuchs- woche	Mittleres Kör- pergewicht(kg)	Wasseraufnahme l/Tag	Wasseraufnahme ml/kg KG u.Tag	Harnausscheidung l/Tag	Harnausscheidung ml/kg KG u.Tag	Harmmenge in % der aufgenommenen Wassermenge
1	72.2	6.2	86	4.2±0.7	58	68
2	80.1	7.4	92	4.9±0.8	62	66
3	89.4	7.6	85	4.5±0.9	50	59
4	101.5	7.6	75	3.3±0.8	33	43
5	114.6	8.0	70	3.2±0.7	28	40
6	127.4	8.1	64	3.9±0.7	30	48
7	140.6	8.6	61	3.4±0.6	25	40
8	150.5	8.1	54	3.7±0.7	25	46
9	159.6	9.6	60	3.5±0.6	22	36

daß Veränderungen der Kotkonsistenz für die beträchtlichen Tagesschwankungen der renalen Na-Ausscheidung bei Mastkälbern mitverantwortlich sind. Dies ist umso wahrscheinlicher, als sich die faecale Na-Ausscheidung bei jungen Kälbern in den Untersuchungen dieser Autoren bereits verdoppelte, wenn der Kot von einer "normalen" in eine "weiche" Beschaffenheit überging. Die Beurteilungsstufe "weich" unterschied sich noch deutlich von dem Durchfallkot schwer erkrankter Kälber. Über die faecale Chloridausscheidung werden in dieser Veröffentlichung keine Angaben gemacht.

Hierzu liegen in vitro-Versuche von WHITTEN und PHILLIPS (1971) vor. Bei durchfallerkrankten Kälbern wurde gegenüber gesunden Kontrolltieren ein verstärkter Na-Einstrom in das distale Ileum und das proximale Colon gemessen. Den in das Darmlumen sezernierten Na^+ -Kationen folgten jedoch keine Cl^- -Anionen nach.

Demnach könnten Veränderungen der Kotkonsistenz für die faecale und rückwirkend auch für die renale Chloridausscheidung von geringerer Bedeutung sein, als dies bei Natrium der Fall ist.

Die Na- und Cl-Konzentration im Harn (Tab. 9) nahm während des Versuches zu.

Aufgrund der individuellen, körpergewichtsorientierten Futterzumessung stieg die Na- (Cl^-) Aufnahme von der 1. bis zur 5. Versuchswoche von 63 (189) auf 79 (238) mg/kg KG und Tag an. Sie fiel bis zur 9. Versuchswoche geringfügig auf 72 (218) mg/kg KG und Tag ab.

Die renale Natriumausscheidung betrug 55 bis 68 mg/kg KG und Tag und stand in enger Beziehung zur Na-Aufnahme. Von jedem Kalb wurde die von Woche zu Woche steigende Na-Zufuhr $\frac{\text{g}}{\text{Tag}}$ mit einer entsprechend erhöhten Na-Ausscheidung im Harn be-

Tabelle 9 : Na- und Cl-Konzentration im Harn von Mastkälbern
(n = 12; 72.2 - 159.6 kg KG)

Versuchswoche	Natrium im Harn (mg/100ml $\pm$ s)	Chlorid im Harn (mg/100ml $\pm$ s)
1	105 $\pm$ 51	247 $\pm$ 38
2	91 $\pm$ 26	266 $\pm$ 42
3	121 $\pm$ 30	349 $\pm$ 70
4	177 $\pm$ 48	528 $\pm$ 171
5	214 $\pm$ 55	687 $\pm$ 120
6	219 $\pm$ 54	624 $\pm$ 114
7	268 $\pm$ 35	760 $\pm$ 87
8	231 $\pm$ 54	668 $\pm$ 99
9	211 $\pm$ 120	771 $\pm$ 69

antwortet. Daher bestehen auch für jedes Kalb signifikante Korrelationen zwischen Na-Aufnahme $\bar{g}/\text{Tag} = \bar{x}$ und Na-Ausscheidung im Harn $\bar{g}/\text{Tag} = \bar{y}$, mit Korrelationskoeffizienten zwischen 0.40 und 0.83 ($p < 0.05$ bis < 0.001).

Im Mittel aller Kälber und aller Versuchswochen wurden $85.0 \pm 26.4\%$ des mit dem Milchaustauschfutter aufgenommenen Natriums im Harn ausgeschieden, wobei zwischen den Kälbern sowie zwischen den Versuchswochen keine individuellen bzw. von Körpergewicht und Lebensalter abhängigen Unterschiede auftraten.

Aus einer mittleren renalen Natriumausscheidung von 85 % der aufgenommenen Natriummenge ist abzuleiten, daß die Niere bei Mastkälbern der wichtigste Ausscheidungsweg für diesen Elektrolyten ist.

Es war nicht Ziel der vorliegenden Untersuchungen, Mineralstoffbilanzen bei wachsenden Mastkälbern zu erstellen. Dennoch soll die folgende Modellrechnung veranschaulichen, wie gering die Beteiligung der faecalen Natriumausscheidung an der gesamten Natriumausscheidung dieser Tiere ist.

Bei Kalb Nr. 12 betrug die Natriumaufnahme während des Versuchszeitraumes 571 g, hiervon wurden 80 % = 457 g im Harn ausgeschieden.

SCHULZ et al. (1974) ermittelten bei wachsenden Mastbullen (152 - 267 kg KG) einen mittleren Na-Ansatzwert von etwa 1.0 g/1000 g Gewichtszunahme. Legt man diesen Wert zugrunde, so ergibt sich für Kalb Nr. 12 ein Na-Ansatz von 104 g (104 kg Gewichtszunahme von der 1. bis 9. Versuchswoche). Rechnerisch entfallen auf die faecale Na-Ausscheidung also nur noch 10 g. Diese Menge entspricht 1.8 % des aufgenommenen Natriums.

Damit liegen bei Mastkälbern ähnliche Verhält-

nisse wie bei anderen monogastrischen Säugetieren vor. Für den erwachsenen Menschen wird die mittlere tägliche Na-Aufnahme unter europäischen Ernährungsbedingungen von DOMAGK (1972) mit 4 g veranschlagt. Als physiologischer Wert für die Na-Ausscheidung im Stuhl gilt eine Menge von weniger als 115 mg/Tag (SICKINGER, 1973), so daß es üblich ist, Natriumaufnahme und renale Natriumausscheidung praktisch gleichzusetzen.

Die erhobenen Befunde zeigen deutlich, daß sich Mastkälber auch hinsichtlich der Natriumausscheidung grundsätzlich von wiederkauenden Rindern unterscheiden. Der dort relativ hohe Anteil des Kotnatriums an der gesamten Natriumausscheidung deutet darauf hin, daß hier Niere und Dickdarm gleichermaßen an der Regulation des Natriumhaushalts beteiligt sind. Diese Aufgabe fällt bei Mastkälbern offensichtlich in erster Linie der Niere zu.

Die Chloridausscheidung des Mastkalbes unterscheidet sich dagegen hinsichtlich ihrer Verteilung auf Harn und Faeces, soweit sich dies aus den vorliegenden Ergebnissen schließen läßt, nicht wesentlich von derjenigen des Wiederkäuers. Hier wie dort ist die Niere der Ausscheidungsweg.

Die renale Chloridausscheidung erfolgt in enger Abhängigkeit von der Chloridaufnahme. Da die Tagesschwankungen der Chloridausscheidung im Harn $\left[\frac{\text{g}}{\text{Tag}} \right]$ jedoch erheblich geringer waren als diejenigen der Natriumausscheidung, weisen die Korrelationen zwischen Chloridaufnahme $\left[\frac{\text{g}}{\text{Tag}} = x \right]$ und Chloridausscheidung $\left[\frac{\text{g}}{\text{Tag}} = y \right]$ deutlich höhere Koeffizienten (0.65 bis 0.96) auf. Sie bestehen für jedes Kalb mit einer Wahrscheinlichkeit, die oberhalb 99.9 % liegt. Aus diesem Grunde läßt sich die Chloridausscheidung im Harn, unter den

hier gewählten Versuchsbedingungen (für 12 Mastkälber), nach der folgenden Gleichung vorher-
sagen ($r = 0.88$; $n = 287$ Harnsammeltage)

$$\frac{\text{Cl-Ausscheidung}}{\text{g/Tag}} = -0.64 + 0.81 \cdot \frac{\text{Cl-Aufnahme}}{\text{g/Tag}}$$

Im Mittel aller Kälber und Versuchstage wurden $78.7 \pm 12,8$ % der aufgenommenen Chloridmenge $\frac{\text{g}}{\text{Tag}}$ im Harn ausgeschieden. Dieser Wert steht in verhältnismäßig guter Übereinstimmung mit den sich aus der vorstehenden Gleichung ergebenden Daten. Sein Variationskoeffizient (16.2 %) ist etwa halb so groß wie der korrespondierende Wert der prozentualen Natriumausscheidung (31.1 %). Dieser Befund unterstreicht noch einmal die Tatsache, daß die renale Chloridausscheidung erheblich geringeren Tagesschwankungen unterliegt als die Natriumausscheidung.

Das mittlere Cl/Na-Verhältnis im Harn beträgt 2.90 ± 0.68 und ist damit annähernd identisch mit dem Cl/Na-Verhältnis im Milchaustauschfutter (Mast I : 2.97; Mast II : 3.00).

4 K A L I U M

4.1. Literaturübersicht

Während sich das Interesse bei Untersuchungen über den Natriumstoffwechsel des Wiederkäuers auf Mangel- und Überschußzustände richtet, ist Kaliummangel bei Pflanzenfressern äußerst selten. Im Mittelpunkt von Experimentalarbeiten über den Kaliumstoffwechsel des Wiederkäuers steht die Frage nach den Mechanismen, die es den Rindern und Schafen ermöglichen, trotz hoher Kaliumgehalte (bis zu 4 % in der Trockensubstanz) im Weidegras die K-Bilanz ausgeglichen zu halten (KEYNES und HARRISON, 1967).

Ähnlich wie Natrium und Chlorid wird auch das Kalium des Blutplasmas frei filtriert, sodaß die K-Konzentration des Primärharnes derjenigen des Plasmas entspricht (K-Konzentration im Plasma von Kälbern s.Tab. 10).

Tabelle 10: Mittlere K-Konzentration im
Blutplasma von Kälbern

Tierzahl	K im Plasma [mg/100 ml]	Quelle
10 Saugkälber	18.0	VOGEL, 1962
10 Kälber	18.9	KAEMMERER et al., 1972
59 Kälber	19.9	FISHER, 1960

Intravenöse KCl-Infusionen führen beim Rind zu einer leichten Erhöhung der K-Konzentration im Plasma und damit zu vermehrter K-Filtration. Bevor jedoch der K-Gehalt des extrazellulären Raums

ein bedrohlich hohes Niveau erreicht, ist die renale K-Ausscheidung bereits so stark angestiegen, daß sie der K-Infusionsrate entspricht (ANDERSON und PICKERING, 1962). PICKERING (1965) sieht hierin einen besonderen Anpassungsmechanismus des Wiederkäuers an die hohe K-Zufuhr über die Futterration.

Über die Natur der tubulären Transportvorgänge, die letztlich darüber entscheiden, welcher Prozentsatz der filtrierten K-Menge im Endharn ausgeschieden wird, ist bisher wenig bekannt (ULLRICH, 1973). Im proximalen Tubulus werden 50-65 % des filtrierten Kaliums rückresorbiert. Dieser Prozentsatz ist unabhängig von der oral oder intravenös zugeführten K-Menge. Aus zahlreichen, widersprüchlichen experimentellen Befunden ziehen BRENNER und BERLINER (1973) den Schluß, daß es im proximalen Tubulus wahrscheinlich keinen aktiven K-Transport gibt. Die Richtung des Kaliumnettotransportes im distalen Tubulus hängt eindeutig von der Kaliumversorgungslage des Organismus ab. Beim Menschen, dessen Nahrung oft weniger Kalium als Natrium enthält, kann hier eine fast vollständige Rückresorption der verbleibenden Kaliummenge (ca. 35 - 50 % des Filtrates) stattfinden (BRENNER und BERLINER, 1973).

Bei Wiederkäuern, deren Ration das 6 - 8fache ihres K-Bedarfes enthalten kann, kommt es unter Umständen zu einer starken K-Sekretion in das distale Tubuluslumen. Folge dieser distalen K-Sekretion ist, daß das im Endharn ausgeschiedene Kalium die glomerulär filtrierte K-Menge übertrifft. Die Fähigkeit der Niere zu einer Nettokaliumsekretion wurde experimentell, soweit es landwirtschaftliche Nutztiere betrifft, bisher für das Rind (ANDERSON und PICKERING, 1962), das Schaf (SCOTT, 1969;

DEWHURST et al., 1968) und das Schwein (MASON und SCOTT, 1972) nachgewiesen.

Die distale K-Sekretion wird unter Aldosteroneinfluß gesteigert. Nach SHARP und LEAF (1973) handelt es sich dabei um einen Sekundäreffekt: durch den aktiven Na^+ -Transport aus dem distalen Tubulus wird eine relativ hohe transtubuläre, elektrische Potentialdifferenz aufgebaut. Diese Elektronegativität fördert den K^+ -Einstrom in den Tubulus. Neben dem K-Einstrom wird durch Aldosteron auch die H^+ -Sekretion in den Tubulus gefördert. Wie MALNIC et al. (1971) an acidotischen Ratten nachweisen konnten, besteht hierbei eine Konkurrenz zwischen K^+ und H^+ . Bei akuter, metabolischer Acidose war die K-Sekretion in den Tubulus eingeschränkt.

Für die renale K-Ausscheidung des Wiederkäuers, dessen Harnreaktion in der Regel alkalisch ist, dürfte dieses Konkurrenzverhalten von K^+ und H^+ kaum von Bedeutung sein. Acidosen des Wiederkäuers beruhen häufig auf der Verfütterung kraftfutterreicher (Getreideschrote etc.), rohfaserarmer Rationen; diese enthalten aber zugleich weniger K als Heu oder Weidegras.

Bei Saugkälbern gewährleistet die Milchernährung eine ausreichende Na-Versorgung und geringe K- Belastung. Da die Niere bei diesen Tieren sowohl für K als auch für Na der Hauptausscheidungsweg ist, entspricht das K/Na-Verhältnis im Harn etwa dem der verfütterten Milch. So bestimmte VOGEL (1962) im Harn von 10 Saugkälbern und 11 Ziegenlämmern ein mittleres K/Na-Verhältnis von 5.9. Im Vergleich hierzu unterrichtet Tabelle 11 über das K/Na-Verhältnis im Harn von Wiederkäuern.

Tabelle 11: K/Na-Verhältnis im Futter und im Harn von Wiederkäuern

Tierzahl	K/Na (Futter)	K/Na (Harn)	Quelle
127 Rinder	11.6	33.0	PAQUAY et al., 1969
9 Schafböcke (Na-Mangel)	57.0	187.0	JONES et al., 1967
9 Schafböcke (Na ausreichend)	8.2	12.2	JONES et al., 1967
2 Bullen (Na-Mangel)	162.0	438.0	MORRIS und GARTNER, 1971

Der Hauptausscheidungsweg für Kalium ist bei Wiederkäuern und monogastrischen Tieren die Niere. Bei 127 trockenstehenden und nicht tragenden Rindern, die im Mittel 95 g K/Tag erhielten, wurden 72 g (= 74.2 %) im Harn ausgeschieden (PAQUAY et al., 1969). MASON und SCOTT (1972) untersuchten die K-Ausscheidung bei 6 männlichen Schweinen. KCl-Zulagen von 300, 400 und 500 mMol/Tier und Tag wurden ausschließlich über die Niere eliminiert, die faecale K-Ausscheidung blieb dagegen unbeeinflusst.

Welche unterschiedlichen Anforderungen bei der Aufrechterhaltung der K-Homoeostase an die Niere gestellt werden können, zeigen vergleichende Daten (s. Tab. 12), die von PICKERING (1965) veröffentlicht und von BOEHNCKE (1971) nach eigenen Versuchsergebnissen ergänzt wurden.

Tabelle 12: Renale Kaliumausscheidung bei Mensch, Kalb und Rind
(PICKERING, 1965 und BOEHNCKE, 1971)

K im Plasma (mg/100 ml)	filtrierte K-Menge (g/Tag)	im Harn ausgeschie- dene Harnmenge(g/Tag)	K, rückresorbiert in % des Filtrates	K/Na
<u>Mensch</u>				
15.6	28.1	2.08	92.6	0.73
<u>Mastkalb (Milchaustauschfutter, 100 kg KG)</u>				
15.6	38.8	23.3	40.0	3.20
<u>Rind</u>				
15.6	210.3	250.0	-18.9	50.0

4.2 Eigene Untersuchungen (Ergebnisse und Diskussion)

Ebenso wie die Natrium- und Chloridkonzentration wird die Kaliumkonzentration im Blutplasma innerhalb eines relativ engen Spielraumes konstant gehalten. Daher bestehen zwischen den einzelnen Versuchswochen, bei geringer Streuung der Mittelwerte, keine signifikanten Unterschiede (s.Tab.13).

Tabelle 13: Kaliumkonzentration im Blutplasma von Mastkälbern
(n = 12; 72.2 - 159.6 kg KG)

Versuchswoche	Kalium im Plasma (mg/100 ml $\pm$ s)
3	18.0 $\pm$ 0.4
4	18.4 $\pm$ 0.9
5	18.1 $\pm$ 0.8
6	18.1 $\pm$ 0.7
7	18.0 $\pm$ 0.5
8	18.7 $\pm$ 1.3

Die renale Kaliumausscheidung verhält sich ähnlich wie die Chloridausscheidung.

Als Mittelwert aus 303 Harnproben (24-Stundenharn) von 12 Mastkälbern ergibt sich eine Kaliumausscheidung in Höhe von 86.8 ± 10.9 % des mit der Tränke aufgenommenen Kaliums. Die im Harn ausgeschiedene Kaliummenge $\overline{g}/\text{Tag} = y$ hängt bei allen Kälbern eng von der Kaliumzufuhr $\overline{g}/\text{Tag} = x$ ab. Die Korrelation zwischen den beiden Größen ist mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.92 (n=303)

hochsignifikant.

Für die Kaliumausscheidung läßt sich eine ganz ähnliche Berechnung anstellen, wie sie für Natrium bereits durchgeführt wurde. Während des 9-wöchigen Versuchszeitraumes betrug die Kaliumaufnahme bei Kalb Nr. 12 1852 g, hiervon wurden 88% = 1630 g im Harn ausgeschieden. Legt man wiederum die von SCHULZ et al. (1974) erarbeiteten Daten zugrunde (ca. 1.7 g Kalium/1000 g Gewichtszunahme), ergibt sich ein Kaliumansatz von 177 g (104 kg Gewichtszuwachs von der 1. bis zur 9. Versuchswoche). Die verbleibende Differenz von 45 g Kalium (=2.4% der Aufnahme) entspricht rechnerisch der faecalen Kaliumausscheidung. Selbst wenn diese Modellrechnung einen Fehler von $\pm 100\%$ aufweisen sollte, läßt sie die Aussage zu, daß die Kaliumausscheidung des Mastkalbes nahezu ausschließlich über die Niere erfolgt. Die Schwankungen der renalen Kaliumausscheidung von Tag zu Tag sind ebenso wie bei Chlorid deutlich geringer als diejenigen des Natriums. Auch dieser Befund kann anhand der Ergebnisse von BLAXTER und WOOD (1953) gedeutet werden. Beim Übergang der Kotkonsistenz von "normal" nach "weich", der einem Anstieg der faecalen Wasserausscheidung von 51 auf 280 g/Kalb und Tag entspricht, stieg die faecale K-Ausscheidung nur um 36% an (Natrium 90%). Dies bedeutet, daß die Auswirkungen unterschiedlichen Wassergehalts im Kot auf die renale Kaliumausscheidung des Mastkalbes wahrscheinlich geringer zu veranschlagen sind als bei Natrium. Das K/Na-Verhältnis im Harn beträgt im Mittel 3.45 ± 0.92 und unterscheidet sich nur wenig von demjenigen im Milchaustauschfutter (K/Na Mast I : 3.34; K/Na Mast II : 3.17).

Im Harn wiederkauender Rinder weist das K/Na-Verhältnis dagegen in der Regel einen bedeutend größeren Zahlenwert auf als in der Ration. Hieraus läßt sich zum einen die höhere Kaliumbelastung des Pflanzenfressers und zum anderen die relativ geringere renale Natriumausscheidung des Wiederkäuers ablesen.

5 C A L C I U M

5.1 Literaturübersicht

Die Calciumkonzentration im Blutserum wird durch den Einfluß von Parathormon, Calcitonin und Vitamin D in relativ engen Grenzen konstant gehalten. Die hiermit in Verbindung stehenden Regulationsvorgänge sind intensiv erforscht worden, und in Teilbereichen bestehen bereits gut fundierte Vorstellungen über die zugrunde liegenden Wirkungsmechanismen (IRVING, 1973). Über die Rolle der Niere bei der Calcium-Homoeostase ist weit weniger bekannt. Dies mag nach WALSER (1973) vor allem zwei Gründe haben:

Es ist relativ schwer, die glomerulär filtrierte Ca-Menge exakt zu bestimmen, da ein gewisser Anteil des Ca^{++} im Plasma an Protein gebunden vorliegt (ca. 47.5% freie Ca-Ionen, 45.0% an Protein gebunden, 3.3% an organische Säuren gebunden, SEARCY, 1969).

Die Bedeutung der verhältnismäßig geringen Ca-Ausscheidung im Harn im Rahmen des gesamten Calciumstoffwechsels der Haustiere ist noch ungewiß.

Obwohl die Ca-Konzentration im Blutplasma ebenso straff reguliert ist wie diejenige von Na, K und Cl, fällt auf, daß in der Literatur von einzelnen Untersuchern stark voneinander abweichende Werte angegeben werden (s.Tab.14). Ob diese Tatsache auf unterschiedliche und z.T. recht störungsanfällige Analysenmethoden (verschiedene colorimetrische Verfahren, Titrimetrie, Flammenphotometrie, Atomabsorption), zurückzuführen ist, kann nicht entschieden werden.

Tabelle 14: Mittlere Ca-Konzentration im Blut-
plasma landwirtschaftlicher Nutztiere

Tierart	Ca im Blutplasma (mg/100 ml)	Quelle
10 Saugkälber	10.8	VOGEL, 1962
30 Mastkälber (Milchaustausch- futter)	10.6	GROPP et al., 1975
5 Kälber (Wiederkäuer)	14.0	WISE et al., 1963
22 Kälber (Wiederkäuer)	9.8	FISHER, 1960
10 Kälber (Wiederkäuer)	10.1	KAEMMERER et al., 1972
36 Lämmer (Wiederkäuer)	12.2	CHICCO et al., 1973
19 Saugfohlen	11.2	GYGAX und GERBER, 1973
40 Saugferkel	11.4	MILLER et al., 1962
28 Ferkel (Milch + Kraft- futter)	11.0	ULLREY et al., 1967
21 Rinder (jünger als 6 Monate)	11.1	SAID et al., 1964
128 Milchkühe	9.3	RAU, 1973

Die glomerulär filtrierte Ca-Menge entspricht an-
nähernd dem Produkt aus der glomerulären Filtrations-
rate und dem Anteil der frei filtrierbaren Ca^{++} -Ionen
im Blutplasma, denn das an Protein gebundene Calcium
vermag die Poren der Glomerulusmembran nicht zu
passieren.

Die aktiven und passiven Transporteigenschaften von Ca^{++} im Tubulus sind denen von Na^+ in vieler Hinsicht sehr ähnlich. Die Gründe für diese Übereinstimmungen sind bisher noch ungeklärt (ULLRICH, 1973; WALSER, 1971; LASSITER et al., 1963).

In älteren Veröffentlichungen wird darauf hingewiesen, daß Parathormon die tubuläre Ca-Rückresorption fördert, also zu einer Reduktion der renalen Ca-Ausscheidung führt (referiert von WALSER, 1973). TEPPERMAN (1972) weist jedoch darauf hin, daß die Ca-Ausscheidung im Harn nur unmittelbar nach Verabreichung von Parathormon absinkt. Nach neueren Untersuchungen (Nutrition Reviews, 1973) bewirkt Parathormon eine gesteigerte Aktivität des Enzyms $25(\text{OH})\text{D}_3$ -1-hydroxylase, welches die Umwandlung von 25-hydroxycholecalciferol in 1,25-dihydroxycholecalciferol katalysiert. Dieser Umwandlungsschritt erfolgt in der Niere. Der aktive Vitamin D-Metabolit 1,25-dihydroxycholecalciferol führt zur Ca-Mobilisation im Skelett und damit zu einer späteren Erhöhung der renalen Ca-Ausscheidung. Durch Calcitonin wird diese Umwandlung gehemmt.

Die renale Ca-Ausscheidung macht bei den meisten Haustieren nur einen geringen Prozentsatz der mit der Futterration aufgenommenen Ca-Menge aus (s.Tab.15). Bei milchernährten Jungtieren, bei denen die wahre Ca-Verdaulichkeit nahezu 100% beträgt (HANSARD et al., 1961; LENGEMANN, 1957), läßt diese Tatsache auf eine praktisch vollständige Ca-Rückresorption im Tubulus schließen. Für Natrium, Kalium und Chlorid bestehen enge Beziehungen zwischen Aufnahme und Ausscheidung im Harn. Für Calcium konnten ähnliche Verhältnisse in Bilanzversuchen an 127 Rindern (PAQUAY et al., 1968) nicht nachgewiesen werden. Wenn in einigen

Untersuchungen auf Korrelationen zwischen Ca-Zufuhr und renaler Ca-Ausscheidung hingewiesen wird, ist dieser Sachverhalt ohne größere quantitative Bedeutung, da die im Harn ausgeschiedene Ca-Menge absolut stets gering bleibt.

Tabelle 15: Renale Ca-Ausscheidung bei landwirtschaftlichen Nutztieren

Tierart	Ca-Ausscheidung im Harn in % der Ca-Aufnahme	Quelle
4 Ferkel (Milchaustausch)	1.80	MILLER et al., 1964
10 Saugkälber	0.45	VOGEL, 1962
14 Saugferkel	0.94	VOGEL, 1962
(menschlicher Säugling)	1.80	SLATER, 1961
18 Bullen	1.60	TILLMAN et al., 1959
127 Rinder	3.20	PAQUAY et al., 1968
5 Sauen (laktierend)	3.60	LENKEIT et al., 1959
6 Schafe (18 Monate alt)	0.25	SUTTLE und FIELD, 1966
7 Schafe (laktierend)	0.63	BRAITHWAITE et al., 1969
8 Hammel (ausgewachsen)	1.40	BRAITHWAITE, 1974
10 Schafe (tragend)	1.60	BRAITHWAITE, et al., 1970

Bei Pferden scheinen hinsichtlich der renalen Ca-Ausscheidung insofern andere Verhältnisse vorzuliegen, als die im Harn ausgeschiedene Ca-Menge von

der Ca-Versorgung abhängt und mit 15% der aufgenommenen Menge relativ hoch ist (SCHRYVER et al., 1970).

Die Regulationsmechanismen des Calciumstoffwechsels bei Kaninchen weichen offensichtlich erheblich von denjenigen bei anderen Species ab. Die Ca-Konzentration im Blutplasma ist bei dieser Tierart in starkem Maße vom Ca-Gehalt der Ration abhängig. In Versuchen von CHAPIN und SMITH (1967) fiel das Plasma-Ca bei Calciumunterversorgung (0.07% Ca in der Ration) auf 5.9 mg/100 ml ab und ließ sich durch Verbesserung der Ca-Versorgung (0.37% Ca in der Ration) bis auf 15.2 mg/100 ml steigern. Die Calciumausscheidung bei Kaninchen erfolgt in erster Linie über die Niere und nur zu einem geringen Anteil im Kot (CHEEKE und AMBERG, 1973). Diese Befunde entsprechen in mancher Beziehung dem Mg-Stoffwechsel bei anderen Tierarten.

5.2 Eigene Untersuchungen (Ergebnisse und Diskussion)

Als mittlere Calciumkonzentration im Blutplasma ergaben sich 11.2 ± 0.3 mg/100 ml. Die Streuung dieses Wertes ist mit $\pm 2.7\%$ geringer als der methodische Fehler bei der Calciumbestimmung im Blutplasma (s.2.4.3). Gleiches läßt sich für die Wochenmittelwerte (s.Tab.16) aussagen.

Tabelle 16: Calciumkonzentration im Blutplasma von Mastkälbern
(n = 12; 72.2 - 159.6 kg KG)

Versuchswoche	Calcium im Plasma (mg/100 ml $\pm$ s)
3	11.3 ± 0.2
4	11.1 ± 0.3
5	11.1 ± 0.3
6	11.4 ± 0.3
7	11.1 ± 0.3
8	11.0 ± 0.3

Während die mittlere Natrium- und Chloridkonzentration (Kaliumkonzentration) im Harn im Verlaufe des Versuches mehr als verdoppelt wird, bleibt die Calciumkonzentration stets gering und steigt nur von 1.5 auf 2.4 mg/100 ml an (s.Tab. 17).

Tabelle 17: Ca-Konzentration im Harn von
Mastkälbern
(n = 12; 72.2 - 159.6 kg KG)

Versuchswoche	Calcium im Harn (mg/100 ml $\pm$ s)
1	1.6 $\pm$ 1.1
2	1.9 $\pm$ 1.1
3	1.5 $\pm$ 0.8
4	2.0 $\pm$ 1.9
5	1.8 $\pm$ 0.7
6	2.0 $\pm$ 0.5
7	2.3 $\pm$ 0.9
8	2.2 $\pm$ 1.1
9	2.4 $\pm$ 1.0

Die experimentellen Befunde über die renale Calciumausscheidung des Mastkalbes heben diese in quantitativer und qualitativer Hinsicht deutlich von der Natrium-, Chlorid- und Kaliumausscheidung im Harn ab. Während der überwiegende Prozentsatz der mit dem Milchaustauschfutter aufgenommenen Natrium-, Chlorid- und Kaliummenge über die Niere ausgeschieden wird, beträgt dieser Anteil für Calcium nur 0.42 ± 0.27 %. Dabei steht der von der 1. bis zur 5. Versuchswoche von 150 auf 176 mg/kg KG und Tag ansteigenden und dann bis zur 9. Versuchswoche auf 161 mg/Kg KG und Tag abfallenden

Ca-Aufnahme eine mehr oder weniger konstante renale Ausscheidungsrate (mg/kg KG und Tag) gegenüber. Auch statistisch ergibt sich kein gesicherter Zusammenhang zwischen Ca-Aufnahme und -Ausscheidung ($r = 0.10$; $n = 303$). Daher läßt sich die renale Ca-Ausscheidung in diesem Versuch am zutreffendsten durch den Mittelwert : 0.7 ± 0.3 mg/kg KG und Tag charakterisieren.

Die Niere scheint für die Calciumausscheidung der meisten landwirtschaftlichen Nutztiere kaum eine nennenswerte quantitative Rolle zu spielen (s.Tab.15). Auffällig ist, daß Pferde (SCHRYVER et al., 1970) und Kaninchen (CHAPIN und SMITH, 1967; CHEEKE und AMBERG, 1973), zwei monogastrische Pflanzenfresser, deren Verdauungssysteme gewisse Gemeinsamkeiten aufweisen (voluminöser Dickdarm, mikrobielle Verdauung; KAMETAKA, 1973; GEYER und DREPPER, 1973), von dieser Feststellung auszunehmen sind. Sie trifft jedoch, wie aus den eigenen Ergebnissen hervorgeht, für das Mastkalb in vollem Umfang zu (s.5.2). Anders, als es für Natrium, Kalium und Chlorid dargelegt wurde, ist die renale Calciumausscheidung zudem unabhängig von der mit dem Milchaustauschfutter aufgenommenen Calciummenge.

Mit nur 0.7 mg Ca/kg Körpergewicht und Tag unter-scheidet sich die renale Ausscheidung reichlich mit Calcium versorgter Mastkälber (150 - 176 mg/kg KG und Tag) nur unwesentlich von der "endogenen" Calciumausscheidung im Harn calciumarm ernährter Lämmer. In entsprechenden Versuchen fand WALKER (1971) bei Lämmern, die nur 3.4 mg Ca/kg KG und Tag erhielten, eine Harnausscheidung von 0.5 mg Ca/kg KG und Tag.

Auch mit den von VOGEL (1962) angegebenen Daten stehen die hier bei Mastkälbern erhaltenen Befunde in guter Übereinstimmung. Bei 10 Saugkälbern er-mittelte der Autor eine renale Calciumausscheidung

von 0.45% der mit der Milch aufgenommenen Calciummenge. In den eigenen Untersuchungen beträgt der entsprechende Wert 0.42%. Mit Hilfe der endogenen Kreatininclearance und der Ca-Konzentration im Blutserum errechnet VOGEL für Saugkälber hieraus eine tubuläre Ca-Rückresorptionsrate von 99.6% der glomerulär filtrierte Ca-Menge. Die Gründe für diese annähernd vollständige Ca-Rückresorption sind bisher nicht bekannt.

In der Literatur wird die Meinung vertreten, daß die im Regelfall geringe renale Calciumausscheidung des Wiederkäuers, bei einer Verschiebung des Säure-Basengleichgewichts nach der sauren Seite hin, stark ansteigt (BECKER, 1971). Diese Feststellung beruht auf Ergebnissen, die bei der Erzeugung experimenteller Acidosen gewonnen wurden. Gemeinsames Merkmal derartiger Versuche ist, daß Mineralsäuren (HCl , H_2SO_4) an Wiederkäuer verfüttert (OSLAGE und OSLAGE, 1958; L'ESTRANGE und MURPHY, 1972) oder intraruminal infundiert wurden (SCOTT et al., 1971). Aus derartigen Versuchsanstellungen Beziehungen zwischen Harn-pH und Calciumausscheidung im Harn abzuleiten, scheint aber bedenklich. Festzuhalten bleibt, daß die renale Calciumausscheidung bei Mastkälbern, trotz einer stets deutlich sauren Harnreaktion (BOEHNCKE, 1972), nur sehr gering ist.

6 P H O S P H A T

6.1 Literaturübersicht

Phosphat nimmt unter den Mineralstoffen eine gewisse Sonderstellung ein. Es liegt im Skelett als $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ und im extrazellulären Raum als HPO_4^{--} bzw. H_2PO_4^- in anorganischer Bindung vor. Das Anionenpaar $\text{HPO}_4^{--}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ist an der Pufferkapazität des Blutes beteiligt.

Daneben spielt der Phosphor im Energiestoffwechsel eine wichtige Rolle, weil er als anorganischer P unter Energiespeicherung in eine organische Verbindung eingebaut und unter Energieabgabe aus seiner organischen Bindung freigesetzt werden kann. Diese Wechselbeziehungen zwischen anorganisch und organisch gebundenem Phosphat, die darüber hinaus auch Wechselbeziehungen zwischen extrazellulärem und intrazellulärem Raum mit einschließen, erschweren nach MUDGE et al.(1973) das Verständnis der physiologischen Prozesse, die mit der renalen P-Ausscheidung in Zusammenhang stehen.

Neben der Regulation durch Parathormon, Calcitonin und Vitamin D, wird die anorganische P-Konzentration im Blutplasma durch eine Reihe weiterer Faktoren beeinflusst.

Bei Rindern und Pferden besteht eine deutliche Altersabhängigkeit. Nach UNSHELM und FLOCK (1967) liegen die Werte bei Rindern im Alter bis zu 200 Tagen über 9 mg/100 ml Plasma und sind bei 8 - 10 Jahre alten Kühen auf etwa 4 - 5 mg/100 ml abgefallen. GYGAX und GERBER (1973) konnten eine ähnliche Tendenz für das Pferd nachweisen. Bei Saugfohlen betrug der

P-Gehalt im Plasma 7.2 mg/100 ml und verminderte sich bis auf 2.8 mg/100 ml bei 7 - 8 Jahre alten Pferden.

Der Grund für den relativ hohen P-Blutspiegel sehr junger Tiere ist wahrscheinlich zu einem Teil in der hohen "wahren P-Verdaulichkeit" aus Milchrationen zu suchen. Sie beträgt nach LOFGREEN et al. (1952) bei Kälbern 93 - 94% und nach WALKER (1972) bei Lämmern sogar 98%.

Die P-Konzentration im Blutplasma ist, besonders im Bereich suboptimaler Versorgung, von der mit der Futterration aufgenommenen P-Menge abhängig. In Versuchen mit Bullenkälbern, Jungbullen und Lämmern (WISE et al., 1958; LONG et al., 1957; YOUNG et al., 1966) wurden bei Mangelzuständen Konzentrationen von 2.8 - 4.3 mg P/100 ml Plasma gemessen, die durch Verbesserung der P-Versorgung auf 6.1 bis 9.8 mg/100 ml angehoben werden konnten.

In Tabelle 18 sind mittlere P-Konzentrationen im Blutplasma einiger Haustiere aus entsprechenden Untersuchungen zusammengestellt.

In den meisten experimentellen Untersuchungen wird vorausgesetzt, daß der anorganische P im Blutplasma vollständig glomerulär filtrierbar ist. Nach IRVING (1973) liegt aber ein gewisser Anteil, über dessen Ausmaß noch Unklarheit besteht, an Plasmaproteine gebunden vor und ist daher nicht ultrafiltrierbar.

Die P-Rückresorption findet nahezu ausschließlich im proximalen Tubulus (WEN, 1974; STRICKLER et al., 1964) und nur zu einem sehr geringen Anteil in distalen Abschnitten (PUSCHETT et al., 1972) statt.

Tabelle 18: Mittlere P-Konzentrationen im Blutplasma einiger Haustiere

Tierart	P im Plasma (mg/100 ml)	Quelle
30 Mastkälber (Milchaustausch- futter)	11.2	GROPP et al., 1975
5 Kälber (Wiederkäuer)	10.3	WISE et al., 1963
10 Saugkälber	8.0	VOGEL, 1962
128 Milchkühe	6.0	RAU, 1973
19 Saugfohlen	7.2	GYGAX und GERBER, 1973
28 Ferkel (2 Wochen alt)	11.6	ULLREY et al., 1967
40 Ferkel (3 Tage - 6 Wochen alt)	9.8	MILLER et al., 1962

Tubuläre P-Transportprozesse stehen vor allem unter dem Einfluß von Parathormon. Etwa 40 Minuten nach intravenöser Injektion des Nebenschilddrüsenhormons kommt es beim Menschen zum Anstieg der renalen Phosphatausscheidung, die nach ca. 120 Minuten ihr Maximum erreicht (TEPPERMAN, 1972). Dieser Effekt beruht auf einer Hemmung der tubulären P-Rückresorption durch direkte Einwirkung des Parathormons auf die Niere (SUTCLIFFE et al., 1973). Auch bei Milchkühen führt die Applikation von Nebenschilddrüsenextrakt zu gesteigerter P-Ausscheidung im Harn. Gleichzeitig erfolgt aber eine entsprechende Reduktion der faecalen P-Ausscheidung, sodaß die P-Bilanz nur wenig beeinflusst wird (MAYER et al., 1968).

Bei jungen, milchernährten (funktionell monogastrischen) Wiederkäuern und bei Haustieren mit einhöhligen Magen wird ein wesentlicher Anteil der aufgenommenen Phosphate über die Niere ausgeschieden. Diese Ausscheidung ist von der P-Aufnahme abhängig. Bei Saugkälbern und Schweinen liegt im Normalfall eine saure Harnreaktion vor. Das basische, sekundäre Phosphat des Blutplasmas (HPO_4^{--} ; 80% des anorganischen P im Blutplasma) dient im Tubulus dieser Tiere als Protonenakzeptor und wird in Form primären Phosphats (H_2PO_4^-) im Harn ausgeschieden.

Die Niere hat für die Phosphatausscheidung des Wiederkäuers in der Regel nur eine geringe quantitative Bedeutung (s. Tab. 19). Mit einem meistens deutlich alkalischen Harn werden sehr kleine Phosphatmengen zum überwiegenden Anteil als HPO_4^{--} ausgeschieden. Diese Ausscheidung ist in einem weiten Bereich unabhängig von der Aufnahme. Die Verhältnisse bei Wiederkäuern ändern sich allerdings in drastischer Weise, wenn Verschiebungen des Säure-Basengleichgewichts nach der sauren Seite hin erfolgen.

HYLDGAARD-JENSEN und SIMESSEN (1966) erzeugten durch Verabreichung von 23 kg Getreideschrot (innerhalb von 2 Stunden) bei einer Milchkuh schwere acidotische Erscheinungen. Im Verlauf von 23 Stunden war der Bicarbonatgehalt im Plasma von 22 auf 6.6 mmol/l und das Harn-pH von 7.8 auf 5.1 abgefallen. Gleichzeitig stieg die P-Konzentration im Plasma von 5.7 auf 12.2 mg/100 ml und die P-Ausscheidung im Harn um den Faktor 23 an.

Nach SCHNEIDER (1973) liegen 99% des intrazellulären P in organischer und 1% in anorganischer Bindung vor. Die großen organischen Phosphatester-Anionen können im Gegensatz zu den kleineren anorganischen

Tabelle 19: Renale Phosphatausscheidung bei
einigen Haustieren

Tierart	P im Harn (in % d.Aufnahme)	Quelle
4 Milchkühe	0.5	BÖHME, 1970
18 Jungbullen	2.9	TILLMAN et al., 1959
30 Büffel	1.1	AGARWALA et al., 1971
8 Lämmer (Wiederkäuer)	0.7	PRESTON und PFANDER, 1964
2 Milchkühe (langfristige Bilanzen)	0.7	GÜTTE et al., 1967/68
10 Saugkälber	22.4	VOGEL, 1962
14 Saugferkel	26.9	VOGEL, 1962
4 Ferkel (Milchaustausch- futter)	26.8	MILLER et al., 1964
5 Sauen (laktierend)	16.7	LENKEIT et al., 1959
9 Eber	36.7	VIPPERMAN et al., 1974
4 Shetlandponys	25.8	SCHRYVER et al., 1971

HPO_4^{--} und H_2PO_4^- -Anionen die Erythrozytenmembran nicht passieren. Bei Acidosen wird vermehrt P aus seiner organischen Bindung freigesetzt, diffundiert dann als anorganischer P durch die Erythrozytenmembran und führt zur Erhöhung der P-Konzentration im Plasma. Für Phosphat besteht bei tubulären Transportprozessen, ähnlich wie für Glucose, eine maximale Transportkapazität, d.h., bei Überschreiten einer Grenzkonzentration im Plasma, beginnt die renale P-Ausscheidung steil anzusteigen. Das T_m für Phosphat ist im Gegensatz zu demjenigen von Glucose nicht fixiert, sondern kann durch Parathormoneinfluß gesenkt werden.

Acidotische Zustände können demnach beim Wiederkäuer über eine Erhöhung der anorganischen P-Konzentration im Plasma zu vermehrter P-Ausscheidung im Harn führen. Das renal ausgeschiedene Phosphat dient hier gleichzeitig, ebenso wie bei monogastrischen Tieren, als Vehikel für die renale H^+ -Ausscheidung ($\text{HPO}_4^{--} + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{PO}_4^-$).

Eine weitere Form der "Phosphaturie" des Wiederkäuers tritt bei Verfütterung rohfaserarmer, kraftfutterreicher Rationen auf, ohne daß eine klinisch manifeste Acidose vorliegt. Diese Form wird im angelsächsischen Schrifttum als "mild acidosis" bezeichnet. Wie aus Tabelle 20 hervorgeht, steigt hierbei die P-Ausscheidung im Harn, unabhängig von der P-Aufnahme, stark an. Ebenso wie bei der "Schrotvergiftung" fällt der Harn-pH in den sauren Bereich ab.

Tabelle 20: Renale P-Ausscheidung bei 2 Schafen (SCOTT, 1972)

Rationstyp ⁺	P-Aufnahme (g/Tag)	P-Ausscheidung im Harn (g/Tag)	Harn-pH
Rauhfutter	12.1	0.39	8.2
Soja	12.1	3.93	6.9
Fischmehl	12.1	5.50	5.6

⁺ Rationszusammensetzung(%):

Rauhfutter: Gerstenstroh 53.3, Maisstärke 10.7, Erndnußschrot 32.0, Melasse 2.0, Mineralstoffe/Vitamine 2.0

Soja: Gerstensschrot 80.0, Sojaschrot 18.0, Mineralstoffe/Vitamine 2.0

Fischmehl: Gerstensschrot 86.0, Fischmehl 12.0, Mineralstoffe/Vitamine 2.0

Tabelle 21: Tubuläre P-Rückresorption bei einem Schaf (SCOTT, 1972)

Ration	Anorg.P im Serum (mg/100 ml)	Glomeruläre Filtration (ml/min)	P, filtriert (mg/min)	P, rückresorbiert in % des Filtrates
Rauhfutter	9.2	126	11.6	90.5
Soja	9.1	126	11.5	80.1
Fischmehl	9.1	111	10.2	45.5

Der Grund für den Anstieg der renalen P-Ausscheidung war in diesen Versuchen nicht eine erhöhte P-Konzentration im Plasma, sondern allein die Reduzierung der tubulären P-Rückresorption (s. Tab.21).

6.2 Eigene Untersuchungen (Ergebnisse und Diskussion)

Eine summarische Betrachtung der anorganischen P-Konzentration im Blutplasma ist wenig angebracht, da zwischen der 3., 4., und 5. Versuchswoche einerseits und der 6., 7. und 8. Versuchswoche andererseits signifikante Unterschiede bestehen (s.Tab.22). Der Anstieg des P-Blutspiegels ist begleitet von einem gleichsinnigen Anstieg der renalen P-Ausscheidung. Die in Tabelle 22 zusammengestellten Daten unterstreichen daher die Bedeutung der Niere für die Regulation des Phosphatstoffwechsels bei Mastkälbern.

Die relativ großen Schwankungen der anorganischen P-Konzentration im Blutplasma werden sicher zu einem Teil durch die "stoßartige" zweimal tägliche Futteraufnahme des Mastkalbes verursacht.

In Verlaufsuntersuchungen konnte BOEHNCKE (1973) bei Mastkälbern innerhalb eines Tages Extremwerte von 7.7 und 10.2 mg P/100 ml Plasma feststellen. Nach IRVING (1973) ist die P-Konzentration im Plasma auch beim Menschen bei weitem nicht so konstant wie die Ca-Konzentration.

Tabelle 22: Phosphatkonzentration im Blutplasma und renale Phosphatausscheidung
von Mastkälbern
(n = 12; 72.2 - 159.6 kg KG)

Versuchswoche	anorganisches P (mg/100 ml)	P im Harn (mg/100 ml)	anorganisches P im Harn (mg/kg KG und Tag)
1		49 ± 12	
2		54 ± 10	
3	9.5 ± 0.5	81 ± 24	38 ± 6
4	9.1 ± 0.6	122 ± 32	38 ± 6
5	9.7 ± 0.7	155 ± 31	42 ± 4
6	11.2 ± 0.8	191 ± 35	57 ± 4
7	11.4 ± 0.5	228 ± 64	54 ± 5
8	11.0 ± 0.4	208 ± 33	51 ± 6
9		211 ± 32	

Anders als bei Calcium und in ähnlicher Weise wie bei Natrium, Chlorid und Kalium, hängt die renale Phosphatausscheidung von der P-Aufnahme ab. Diese Abhängigkeit ist jedoch deutlich anderer Natur. Aus den Daten der Tabelle 22 geht hervor, daß die P-Konzentration im Harn mit fortschreitender Versuchsdauer (zunehmendem Körpergewicht und Lebensalter) stärker ansteigt, als bei den bisher erwähnten Elektrolyten. Gegenüber dem Ausgangswert (1.Versuchswoche) war sie in der 7., 8. und 9. Versuchswoche auf das 4-fache angestiegen und damit annähernd gleich hoch wie die Na-Konzentration zum gleichen Zeitpunkt (s.Tab.9). Für Natrium, Chlorid und Kalium konnte gezeigt werden, daß während des gesamten Versuchszeitraumes ein relativ konstanter Anteil (%) der mit dem Futter aufgenommenen Elektrolytmenge im Harn ausgeschieden wurde. Dieser prozentuale Anteil steigt jedoch bei der renalen Phosphatausscheidung von der 1. bis zur 8. Versuchswoche an und verdoppelt sich dabei (s.Tab.23).

Tabelle 23: P-Aufnahme und P-Ausscheidung im Harn von Mastkälbern
(n = 12; 72.2 - 159.6 kg KG)

	Versuchswoche	P-Aufnahme (mg/kg KG und Tag)	P-Ausscheidung, im Harn (in % der P-Aufnahme)	P-Ausscheidung im Harn (mg/kg KG und Tag)
1	124		22.9 ± 6.5	28 ± 7
2	134		24.6 ± 5.8	33 ± 8
3	141		27.6 ± 5.3	38 ± 6
4	147		26.7 ± 5.8	38 ± 6
5	151		28.1 ± 3.8	42 ± 4
6	147		39.1 ± 4.5	57 ± 4
7	140		38.8 ± 4.2	54 ± 5
8	123		41.9 ± 6.5	51 ± 6
9	138		33.6 ± 5.9	45 ± 8

Zwischen der P-Ausscheidung $\left[\frac{\text{g}}{\text{Tag}} = y \right]$ und der P-Aufnahme $\left[\frac{\text{g}}{\text{Tag}} = x \right]$ besteht bei jedem der 12 Kälber eine enge Beziehung ($r=0.60$ bis 0.95 ; $p < 0.001$).

Insgesamt läßt sich die renale P-Ausscheidung in diesem Versuch aus der folgenden Gleichung errechnen. ($r = 0.87$; $n = 303$ Harnsammeltage; $p < 0.001$).

$$\text{P-Ausscheidung} = -2.30 + 0.47 \cdot \text{P-Aufnahme} \\ \left[\frac{\text{g}}{\text{Tag}} \right] \quad \quad \quad \left[\frac{\text{g}}{\text{Tag}} \right]$$

Die bei der Messung der renalen P-Ausscheidung erhaltenen Ergebnisse zeigen, daß die Niere bei Mastkälbern, im Gegensatz zu wiederkauenden Rindern, ein quantitativ bedeutungsvoller Ausscheidungsweg für Phosphat ist. Im Mittel wurden 23 - 42 % der mit dem Milchaustauschfutter aufgenommenen P-Menge im Harn ausgeschieden. Zieht man einen P-Ansatzwert von 5 - 6 g/1000 g Gewichtszunahme (SCHULZ et al., 1974), sowie die P-Zufuhr von 8.5 bis 25 g/Tier und Tag in Betracht, so wird deutlich, daß hier, ähnlich wie beim Menschen (WEHRLE und SCHIEVELBEIN, 1957), die P-Ausscheidung überwiegend renal erfolgt.

Da bei Mastkälbern, ebenfalls im Gegensatz zu Wiederkäuern, eine deutlich saure Harnreaktion vorliegt (BOEHNCKE, 1972), bietet sich für diese Befunde zunächst folgende Erklärung an:

Die in den Tubulus sezernierten H^+ -Ionen hemmen durch einen bisher unbekannten Mechanismus die tubuläre P-Rückresorption, verbinden sich mit HPO_4^{--} zu H_2PO_4^- und werden mit dem primären Phosphat im Harn ausgeschieden. Der Grund für die hohe renale P-Ausscheidung bei saurer Stoffwechsellage wäre dann die Notwendigkeit, Protonen auszuscheiden.

Diese Schlußfolgerung hat sich aber experimentell nicht erhärten lassen. In Versuchen von BOEHNCKE

(1975) erhielten milchernährte Mastbullen (390 - 517 kg KG), deren Harn-pH unterhalb 6.0 lag, mit dem Milchaustauschfutter 150 - 400 g NaHCO_3 /Tag. Die Harnreaktion wurde hierdurch erwartungsgemäß in den alkalischen Bereich (durchschnittlicher pH: 7.7) verschoben. Die renale Phosphatausscheidung in Höhe von ca. 30% der aufgenommenen P-Menge blieb jedoch unbeeinflusst.

Wie SCOTT (1972) zeigen konnte (s.Tab.20), steigt die renale P-Ausscheidung auch bei Wiederkäuern stark an, wenn anstelle von "wiederkäuergerechten", rauhfutterreichen Rationen reine Kraftfutterdiäten verfüttert werden. Es ist bekannt, daß mit dem Speichel große Mengen anorganisches Phosphat in den Pansen gelangen. Nach SMITH et al. (1955) kann bei hohem Speichelfluß der größte Anteil des Phosphats im Pansen dem Speichel entstammen. Unter dem Einfluß von Kraftfutterdiäten wird die Speichelsekretion bei Wiederkäuern jedoch stark reduziert (BAILEY, 1961; BAILEY und BALCH, 1961). Damit fließt auch eine geringere Phosphatmenge in den Pansen. Es ist denkbar, daß hiermit eine Verminderung der endogenen, faecalen P-Ausscheidung und eine entsprechende Kompensation durch vermehrte renale P-Ausscheidung verbunden ist (SCOTT et al., 1971).

Für diese Hypothese fehlt der experimentelle Beweis. Einen gewissen Hinweis geben Versuchsergebnisse von BOEHNCKE und TIEWS (1971). Bei Jungbullen (200 - 250 kg KG), die eine Ration aus 4 kg Kraftfutter und 1 kg Heu erhielten, stellten sich Verdauungsstörungen und eine hohe renale P-Ausscheidung von 7.3 g/Tag ein. Die Zulage von weiteren 2 kg Heu führte zur schnellen Besserung und dem Absinken der Phosphatausscheidung im Harn auf 2.0 g/Tag. Die Phosphataufnahme war dabei sogar

geringfügig von 19 auf 22 g/Tag erhöht worden. Als Ergebnis der eigenen Untersuchungen bleibt festzuhalten, daß bei Mastkälbern, ähnlich wie bei anderen monogastrischen Säugetieren (z.B. Schwein, Pferd, Mensch), Phosphat vorwiegend im Harn ausgeschieden wird. Ob die bei Wiederkäuern gänzlich anderen Verhältnisse (vorwiegend faecale P-Ausscheidung) mit der Sekretion von endogenem Speichelphosphat in Zusammenhang stehen, ist bisher nicht bekannt.

7 M A G N E S I U M

7.1 Literaturübersicht

Zwischen renaler Calcium- und Magnesiumausscheidung bestehen nach WALSER (1973) "erstaunliche" Unterschiede. Während die Ca-Konzentration im Blutplasma und die Ca-Ausscheidung im Harn durch unterschiedliche Ca-Zufuhr nicht nennenswert beeinflusst werden, läßt sich der Magnesium-Versorgungsstatus von Haustieren aus dem Mg-Blutspiegel und dem Mg-Gehalt des Harnes ablesen (MEYER 1971) (s.Tab.24).

Tabelle 24: Einfluß der Mg-Versorgung auf die
Mg-Konzentration in Blutplasma und Harn

8 Milchkühe (O'KELLEY und FONTENOT, 1969)

Mg-Aufnahme (g/Tag)	10.1	21.0	31.9
Mg im Plasma (mg/100 ml)	1.90	1.99	2.43
Mg im Harn (mg/100 mg Kreatinin)	19.8	23.3	36.6

3 ausgewachsene Ponys (HINTZ und SCHRYVER, 1973)

Mg-Aufnahme (mg/kg KG und Tag)	23.7	46.1	131.6
Mg im Plasma (mg/100 ml)	2.21	2.62	3.39
Mg im Harn (mg/kg KG und Tag)	5.6	10.7	20.5

Die wenig straffe Regulation der Mg-Konzentration im Blutplasma führt zu entsprechenden Schwankungen der "Normalwerte". Bei klinisch gesunden Kälbern der Altersgruppe 1 Tag bis 16 Wochen stellte FISCHER (1973) Mg-Gehalte von 1.5 bis 3.9 mg/100 ml Plasma fest. Bei ebenfalls klinisch gesunden Milchkühen (3 - 7 Jahre alt) lagen die entsprechenden Werte zwischen 1.05 und 3.05 mg/100 ml (BÄR et al., 1970). Es bleibt allerdings fraglich, ob von Mg-Normalwerten gesprochen werden kann, ohne diese dem Mg-Gehalt im Futter bzw. der täglichen Mg-Aufnahme zuzuordnen.

Nach Untersuchungen von BOEHNCKE (1974) an 48 Mastkälbern ist die Streuung der Mg-Konzentration im Blutplasma bei konstantem Mg-Gehalt im Futter (0.15 % Mg im Milchaustauschfutter) verhältnismäßig gering (wöchentlich eine Blutprobe/Tier; insgesamt 432 Blutproben; 1.94 ± 0.13 mg Mg/100 ml Plasma).

Das im Blutplasma vorliegende Magnesium ist zu etwa 35 % ultrafiltrierbar (SEIDEL und GÜRTLER, 1974). Der größte Anteil des nicht glomerulär filtrierbaren Magnesiums liegt an Albumin und alpha-Globulin gebunden vor (VAUGHAN, 1970).

Da sich die Mg-Versorgung über das Futter in starkem Maße auf die Mg-Konzentration im Plasma auswirkt, besteht eine direkte Beziehung zwischen Mg-Aufnahme und glomerulär filtrierter Mg-Menge /Zeiteinheit. Die Mg-Konzentration im Primärharn scheint mitbestimmend für die Mg-Konzentration im Endharn zu sein, denn bei niedrigen Mg-Plasmawerten ist die tubuläre Rückresorption von Mg annähernd vollständig, d.h., die Mg-Konzentration im Harn wird ebenfalls sehr gering. In einem Versuch mit 30 Mastkälbern konnte dieser Zusammenhang von GROPP

und Mitarb.(1975) quantifiziert werden : bei Plasmakonzentrationen zwischen 1.1 und 1.6 mg Mg/100 ml lag die Mg-Konzentration im Harn ausnahmslos unterhalb 1 mg/100 ml. Im Bereich 1.6 bis 2.5 mg/100 ml Plasma bestand eine signifikante Korrelation ($r = 0.73$; $n = 100$) zwischen dem Mg-Gehalt im Plasma und im Harn. Die Konzentration von 1.6 mg Mg/100 ml Plasma läßt sich in diesem Fall als eine Art "Schwellenwert" deuten, bei dessen Unterschreitung der "Magnesiumsparmechanismus" der Niere voll wirksam wird.

Die Steuerungssysteme des Mg-Stoffwechsels sind noch unzureichend aufgeklärt, sodaß Aussagen über hormonelle Einflüsse auf die tubuläre Mg-Rückresorption mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind. Unter dem Einfluß von Parathormon wird die renale Mg-Ausscheidung bei der Ratte gesteigert (CARROLL und PECHET, 1967). Auch Aldosteron führt bei dieser Tierart zu vermehrter Mg-Ausscheidung im Harn (HANNA und MACINTYRE, 1963). JONES et al. (1966) fanden die renale Mg-Ausscheidungsrate bei Patienten mit Hyperthyreoidismus erhöht und bei solchen mit Myxödemen erniedrigt, die Mg-Konzentration im Blutplasma verhielt sich gegenläufig. Die Autoren vermuten daher einen direkten Eingriff des Thyroxins in tubuläre Mg-Transportvorgänge.

7.2 Eigene Untersuchungen (Ergebnisse und Diskussion)

Die Magnesiumkonzentration im Blutplasma zeigt von der 5. bis zur 8. Versuchswoche eine leicht steigende Tendenz (s.Tab.25, wobei die Streuung der Wochenmittelwerte (3.7 - 5.9%) mehr als doppelt so hoch ist wie diejenige der Calcium-

konzentration (1.4 - 2.5%).

Tabelle 25: Magnesiumkonzentration im Blutplasma
von Mastkälbern
(n = 12; 72.2 - 159.6 kg KG)

Versuchswoche	Magnesium im Plasma (mg/100 ml $\pm$ s)
3	1.89 $\pm$ 0.11
4	1.90 $\pm$ 0.11
5	1.85 $\pm$ 0.09
6	1.95 $\pm$ 0.11
7	1.94 $\pm$ 0.12
8	1.97 $\pm$ 0.07

Durchschnittliche Magnesiumkonzentrationen von 1.85 mg/100 ml Blutplasma und 22.2 bis 26.3 mg/100 ml Harn (s.Tab.25 und 26) zeigen nach Beurteilungsmaßstäben von MEYER (1971) eine ausreichende Magnesiumversorgung an. Mit Magnesiumgehalten von 1.4 bis 1.5 g/kg Milchaustauschfutter (s.Tab.2) kann demnach der Mg-Bedarf wachsender Mastkälber auch dann voll gedeckt werden, wenn die Wachstumsrate in einzelnen Mastwochen über 2000 g/Tag liegt.

Die Magnesiumausscheidung im Harn konnte erst mit Beginn der 4. Versuchswoche gemessen werden, da ein störender, wasserunlöslicher Niederschlag im Harn in der 1., 2. und 3. Versuchswoche zu fehlerhaften Ergebnissen führte. Intensive Vergleichsuntersuchungen ergaben, daß es sich bei dem salzsäurelöslichen Niederschlag um eine reine Magnesiumverbindung handelte, die weder Calcium noch Phosphat in nachweisbaren Mengen enthielt.

Tabelle 26: Renale Mg-Ausscheidung von Mastkälbern
(n = 12; 72.2 - 159.6 kg KG)

Versuchswoche	Mg im Harn (g/Tag $\pm$ s)	Mg im Harn (mg/100 ml $\pm$ s)	Magnesiumaufnahme (mg/kg KG und Tag)	Magnesiumausscheidung (mg/kg KG und Tag $\pm$ s)
4	0.74 $\pm$ 0.31	22.3 $\pm$ 9.9	27	7.0 $\pm$ 3.0
5	0.82 $\pm$ 0.34	26.3 $\pm$ 11.1	28	7.1 $\pm$ 2.6
6	0.87 $\pm$ 0.38	22.7 $\pm$ 9.0	27	7.0 $\pm$ 2.5
7	0.90 $\pm$ 0.44	24.8 $\pm$ 11.0	26	6.3 $\pm$ 2.8
8	0.83 $\pm$ 0.41	22.2 $\pm$ 10.1	23	5.4 $\pm$ 2.3
9	0.90 $\pm$ 0.43	25.1 $\pm$ 11.3	26	5.4 $\pm$ 2.6

Bei der renalen Magnesiumausscheidung (s.Tab.26) fällt die große Streuung der Wochenmittelwerte auf. Sie beruht weniger auf Tagesschwankungen innerhalb einer Versuchswoche, als vielmehr auf erheblichen individuellen Unterschieden zwischen den einzelnen Kälbern (s.Tab.27). Gegenüber den anderen Elektrolyten bleibt die Mg-Konzentration im Harn von Woche zu Woche relativ unverändert.

Tabelle 27: Renale Magnesiumausscheidung von Mastkälbern
(n = 12; 72.2 - 159.6 kg KG)

Kalb Nr.	Magnesium im Harn (in % der Aufnahme $\pm$ s)	$\pm$ s %	Magnesium im Harn (mg/kg KG und Tag $\pm$ s)
1	8.1 $\pm$ 3.3	40.8	1.8 $\pm$ 0.8
4	13.8 $\pm$ 2.4	17.5	3.8 $\pm$ 0.4
3	16.6 $\pm$ 3.3	19.9	4.6 $\pm$ 0.5
7	18.7 $\pm$ 3.1	16.8	5.0 $\pm$ 1.0
9	20.8 $\pm$ 4.9	23.4	5.2 $\pm$ 1.2
11	24.1 $\pm$ 4.6	23.1	6.3 $\pm$ 1.9
2	24.2 $\pm$ 4.6	19.2	6.1 $\pm$ 1.2
8	28.6 $\pm$ 4.8	20.3	7.1 $\pm$ 1.2
5	32.5 $\pm$ 3.7	11.4	8.3 $\pm$ 1.1
10	33.0 $\pm$ 8.2	24.8	9.3 $\pm$ 2.5
6	33.5 $\pm$ 3.3	9.8	8.7 $\pm$ 0.8
12	36.9 $\pm$ 4.2	11.5	9.8 $\pm$ 0.6

Die Unterschiede in der renalen Mg-Ausscheidung von Kalb zu Kalb sind auch bei ausreichender Mg-Versorgung und gutem Gesundheitszustand der Tiere beträchtlich. Bei Mg-Aufnahmen zwischen 23 und

28 mg/kg KG und Tag (s.Tab.26) schwankte die Mg-Ausscheidung im Harn zwischen 1.8 (Kalb 1) und 9.8 mg/kg KG und Tag (Kalb 12).

Setzt man für diese beiden Extremtiere den gleichen Mg-Ansatz von 0.3 g/1000 g Gewichtszunahme (SCHULZ et al., 1974) und eine ausgeglichene Mg-Bilanz voraus, so ergeben sich die folgenden, in Tabelle 28 zusammengestellten Rechenwerte.

Tabelle 28: Scheinbare Mg-Verdaulichkeit bei
2 Mastkälbern
(4. - 9. Versuchswoche)

	Kalb 1	Kalb 12
Mg-Aufnahme (g)	116.6	160.6 ^a
Mg-Ausscheidung im Harn (g)	9.4	59.4
Gewichtszunahme (kg)	44.3	71.1
Mg-Ansatz (g)	13.3	21.3
Mg-Ausscheidung im Kot (g)	93.9	80.7
Scheinbare Mg-Verdaulichkeit (%)	19.4	49.6

Aus den Meßwerten Mg-Aufnahme, Mg-Ausscheidung im Harn und Gewichtszunahme, sowie dem von SCHULZ et al. (1974) experimentell ermittelten Mg-Ansatzwert ergibt sich für die Kälber 1 und 12 rechnerisch eine stark voneinander abweichende, scheinbare Mg-Verdaulichkeit. Letztere ist zwar nicht identisch mit der Resorption, kann jedoch als Hinweis auf unterschiedlich hohe Resorptionsquoten gewertet werden. Starke Abweichungen in der scheinbaren Mg-Verdaulichkeit fand auch MEYER (1963) bei Bilanzversuchen mit Kälbern. So betrugen die entsprechenden Zahlen-

werte für zwei Kälber in der 4. bis 6. Lebenswoche 71.8 und 44.2 %.

Aus den gleichen Untersuchungen kann ferner auf eine Abnahme der scheinbaren Mg-Verdaulichkeit mit zunehmendem Lebensalter der Kälber geschlossen werden. Dies ist wohl auch der Grund dafür, daß die Mg-Konzentration im Harn in den eigenen Versuchen, trotz abnehmender Tagesharnmenge, annähernd unverändert blieb (s. Tab. 26).

Zusammenfassend ist zu vermuten, daß die große Streubreite der renalen Mg-Ausscheidung bei Mastkälbern unter anderem auf individuellen und altersbedingten Variationen der intestinalen Mg-Resorption beruht.

8 A B S C H L I E S S E N D E B E T R A C H T U N G E N

Untersuchungen über die maximale Konzentrationsfähigkeit der Niere des Mastkalbes liegen bisher nicht vor. Ein gebräuchlicher Parameter für die Summe von Filtrations- und Rückresorptionsleistungen der Niere ist das Verhältnis von Elektrolytkonzentrationen in Harn und Plasma. Hierüber orientiert Tabelle 29.

Aus den Daten von Tabelle 29 geht hervor, daß im Beobachtungszeitraum (3. - 8. Versuchswoche) der U/P-Quotient für Na, Cl, K und P sich in etwa verdoppelt. Eine Ausnahme bildet der U/P-Quotient für Magnesium. Die Mg-Ausscheidung [$\frac{g}{Tag}$] war im Versuchszeitraum nahezu unverändert geblieben.

Die Ergebnisse von Elektrolyt- Belastungsversuchen an erwachsenen Rindern können kaum auf das Mastkalb übertragen werden, da verschiedene Ausscheidungswege für die Elektrolyte bei Kalb und Rind existieren.

Diese Überlegung gewinnt noch an Bedeutung, wenn das durch das Futterregime limitierte Wasserangebot des Mastkalbes der in der Regel gegebenen Möglichkeit zur ad libitum Wasseraufnahme (z.B. Selbsttränke) des Rindes gegenübergestellt wird. Beim Rind können ohne Änderung der Elektrolytkonzentration im Harn (oder im Kotwasser) allein durch eine erhöhte Wasserausscheidung über die Niere (oder den Enddarm), welche eine gleichfalls erhöhte Wasseraufnahme zur Voraussetzung hat, erhebliche Änderungen der quantitativen Elektrolyt-Abgabe erreicht werden. Beim Mastkalb dagegen muß der gleiche Effekt allein durch eine weitere Konzentration der Elektrolyte im Harn (weniger

Tabelle 29: Harn:Plasma-Quotient (U/P) der Elektrolyte

$$U/P = \frac{\text{Elektrolyt } \left[\frac{\text{mg}}{100 \text{ ml Harn}} \right]}{\text{Elektrolyt } \left[\frac{\text{mg}}{100 \text{ ml Plasma}} \right]}$$

Versuchs- woche	Natrium	Chlorid	Kalium	Calcium	Phosphat	Magnesium
3	0.38 ± 0.04	1.05 ± 0.12	23.2 ± 5.58	0.14 ± 0.06	8.6 ± 1.6	
4	0.55 ± 0.09	1.52 ± 0.38	34.4 ± 7.03	0.15 ± 0.05	13.3 ± 1.7	11.7 ± 4.9
5	0.69 ± 0.10	2.05 ± 0.31	45.7 ± 7.27	0.16 ± 0.03	15.9 ± 2.9	14.9 ± 6.1
6	0.67 ± 0.09	1.83 ± 0.23	40.9 ± 7.61	0.18 ± 0.03	17.3 ± 2.6	11.8 ± 4.4
7	0.83 ± 0.05	2.21 ± 0.18	49.2 ± 6.34	0.23 ± 0.06	19.9 ± 5.9	12.7 ± 5.7
8	0.70 ± 0.08	1.89 ± 0.24	43.5 ± 8.99	0.19 ± 0.06	17.6 ± 3.2	11.0 ± 5.1

im Kotwasser) bewirkt werden. Die Harnmenge ist zusätzlich wegen des begrenzten Wasserangebots beschränkt.

In der Kälbermast werden in der Regel abhängig vom Körpergewicht Wassermengen zwischen 4 und 10 - 12 l täglich verabreicht (140 kg Kalb ca. 8.6 l Wasser/Tag). Davon wurden in den obigen Untersuchungen 3.4 l/Tag über die Niere ausgeschieden. Nach VAN ES et al. (1966) muß weiter mit ca. 4 l unsichtbaren Wasserverlusts über Lunge und Haut gerechnet werden.

Dieser "unsichtbare" Wasserverlust darf nicht mit der insensiblen Wasserabgabe im Neutraltemperaturbereich verwechselt werden, da die Daten von VAN ES et al. zum Teil unter wechselnden klimatischen Bedingungen gewonnen wurden.

Weiter wären für Kotwasser ca. 300 ml/Tag zu veranschlagen. Damit verbleiben für den Ansatz ca. 900 ml Wasser, was einer mittleren täglichen Zunahme von etwa 1200 g entspricht. Daraus geht hervor, daß die Regulationsmöglichkeiten der Niere weitgehend eingeschränkt sind.

Diese Modellrechnung wird auch dann für die renale Ausscheidung nur unwesentlich günstiger aussehen, wenn das "Oxidationswasser" (ca. 1000 ml/Tag) mit einbezogen wird. Denn fallweise muß bei Kälbern dieser Gewichtsklasse mit Zunahmeraten in der Größenordnung von 1800 bis 2000 g/Tag gerechnet werden, was den Wasseransatz von 900 ml auf 1350-1500 ml/Tag erhöht.

Diese theoretischen Überlegungen erfahren ihre Bestätigung durch den Befund, daß die Elektrolytkonzentration im Harn (Summe von Na, Cl, K, Ca, P und Mg) zu Versuchsende mit ca. 2180 mg/100 ml um den Faktor 3 über dem korrespondierenden Wert zu Versuchsbeginn (730 mg/100 ml) lag. Damit liegt bei Versuchsende ein deutlich hypertonischer Harn vor.

Die Bildung eines gegenüber dem Blutplasma hyper-tonischen Harns, wie er hier besonders in den letzten Versuchswochen vorlag, wird nach MUNTWYLER (1973)

durch Diffusion von Wasser aus distalen Tubulusabschnitten in das Interstitium der Niere ermöglicht. Treibende Kraft für diese Wasserbewegung ist ein osmotischer Gradient, der durch den aktiven Na-Transport aus dem Tubulus entsteht. So ist beispielsweise die tubuläre Na-Rückresorptionsrate von der Na-Versorgung abhängig und sinkt bei Erhöhung des Na-Angebotes ab.

Die hohe Elektrolytkonzentration im Harn (2180 mg/100 ml) bei Versuchsende ist weder durch eine drastische Erhöhung der Elektrolytzufuhr $\overline{\text{mg/kg KG und Tag}}$, noch der Elektrolytausscheidung $\overline{\text{mg/kg KG und Tag}}$ während des Versuchszeitraumes bedingt, wie Tabelle 30 zeigt.

Tabelle 30: Elektrolyt- Aufnahme und -Ausscheidung $\overline{\text{mg/kg KG und Tag}}$ sowie Harn-Produktion $\overline{\text{ml/kg KG und Tag}}$
Elektrolyt: Summe von Na, Cl, K, Ca, P, Mg
(Relativzahlen in Klammern)

Versuchs- woche	Elektrolyt- Aufnahme	Elektrolyt- Ausscheidung	Harn- Produktion
1	763 (100)	425 (100)	58 (100)
9	843 (110)	478 (112)	22 (37)

Elektrolyt-Aufnahme und -Ausscheidung waren, bezogen auf kg Körpergewicht, nahezu unverändert geblieben. Die tägliche Harnmenge /kg KG war dagegen auf 37% ihres Ausgangswertes abgefallen.

Obwohl die theoretischen Grenzen der Konzentrationsfähigkeit der Niere beim Mastkalb noch unbekannt sind, scheint hier für den allgemeinen Gesundheitszustand

eine Art locus minoris resistentiae vorzuliegen. Die Na-Konzentration im Milchaustauschfutter $[0.4\%]$ lag unter unseren Versuchsbedingungen an der unteren Grenze der in der Praxis üblichen Werte. Orientierende Untersuchungen ergaben für handelsübliche Milchaustauschfutter Werte zwischen 0.5 % und 1 % Na (BOEHNCKE, 1974a). Bei Erhöhung der Na-Zufuhr wird die Na-Rückresorptionsrate verringert. Als Folge davon wird vermehrt Wasser über die Niere ausgeschieden. Bei unverminderter intestinaler Na-Resorption und weiter limitiertem Wasserangebot kann es zum Zusammenbruch der Na-Regulationsmechanismen kommen. Eine Hypernatriämie stellt ein erstes Anzeichen hierfür dar. In diese Betrachtungen muß auch die Cl-Aufnahme mit einbezogen werden. Die enge Beziehung zwischen Na und Cl zeigt sich nämlich in der Tatsache, daß das Cl/Na-Verhältnis im Harn (2.90) in etwa demjenigen im Milchaustauschfutter (2.97 und 3.00) entspricht. Dies wird noch dadurch unterstrichen, daß Na-Zusätze im Milchaustauschfutter in der Regel als NaCl vorgenommen werden. Unabhängig von dem bisher gesagten muß aber ausgeführt werden, daß die genannten Harnmengen bei noch schwereren Kälbern eine weitere Einschränkung erfahren können. In Einzelfällen wurden nur noch knapp 10 ml Harn/kg KG und Tag ausgeschieden (GROPP; BOEHNCKE; SCHULZ, 1974). Die Elektrolytkonzentration im Harn muß hier weiter als oben mitgeteilt angestiegen sein, was sich aus Indikatoruntersuchungen ableiten läßt.

Dazu kommt noch, daß sich unter wechselnden klimatischen Bedingungen (Sommerhitze, keine Temperaturregulation im Stall) die Wasserausscheidung über Lunge und Haut um den Faktor 2

erhöhen kann (VAN ES et.al., 1966).

Es besteht daher Anlaß, die bisherigen Tränkpläne in der Kälbermast unter dem Gesichtspunkt der Elektrolytzufuhr und des limitierten Wasserangebotes einer eingehenden experimentellen Überprüfung zu unterziehen.

9 Z U S A M M E N F A S S U N G

Bei 12 Mastkälbern (♂) wurde die renale Ausscheidung der Elektrolyte Natrium, Chlorid, Kalium, Calcium, Phosphat und Magnesium über 9 Wochen verfolgt.

Das durchschnittliche Körpergewicht der Versuchstiere, die im Anbindestall auf Lattenrost gehalten wurden, betrug zu Versuchsbeginn 72 kg und bei Versuchsende 160 kg.

Die quantitative Sammlung des 24-Stundenharns erfolgte mit Hilfe von Urinalen.

Die Natrium-, Chlorid-, Kalium-, Calcium-, Phosphat- und Magnesiumausscheidung im Harn wurde für jeden einzelnen Versuchstag gemessen. Die Versuchsmittelwerte basieren auf diesen Tagesdaten.

Als mittlere renale Ausscheidungsrate (in % der Aufnahme $\pm$ s) ergaben sich folgende Werte:

Natrium	85.0 $\pm$ 26.4
Chlorid	78.7 $\pm$ 12.8
Kalium	86.8 $\pm$ 10.9
Calcium	0.4 $\pm$ 0.3

Für Phosphat konnte eine durchschnittliche Ausscheidungsrate nicht berechnet werden, da die renale Exkretion dieses Elektrolyten während der Versuchsdauer deutlich anstieg (1. Versuchswoche: 22.9 % $\pm$ 6.5; 8. Versuchswoche: 41.9 % $\pm$ 6.5 der aufgenommenen P-Menge).

Die renale Magnesiumausscheidung zeigte, im Gegensatz zur Exkretionsrate der übrigen Elektrolyte beträchtliche individuelle Unterschiede. Sie bewegte sich zwischen 8.1 % $\pm$ 3.3 (Kalb 1) und 36.9 % $\pm$ 4.2 der aufgenommenen Mg-Menge (Kalb 12) und blieb während des Versuches für

das Einzeltier relativ konstant.

Die Elektrolytaufnahme (Summe aus Na, Cl, K, Ca, P und Mg) stieg im Verlauf des Versuches von 763 mg/kg KG und Tag um nur 10 % auf 843 mg/kg KG und Tag an. Gleichlaufend erhöhte sich die Elektrolytausscheidung von 425 auf 478 mg/kg KG und Tag (+12 %). Die Elektrolytkonzentration im Harn betrug dagegen mit 2180 mg/100 ml bei Versuchsende etwa das 3-fache des Ausgangswertes (730 mg/100 ml).

Dieser Anstieg war nahezu ausschließlich auf eine starke Einschränkung der Harnproduktion (von 58 ml/kg KG und Tag in der 1. Versuchswoche auf 22 ml/kg KG und Tag in der 9. Versuchswoche) zurückzuführen.

Die Wasseraufnahme über die Tränke war dagegen nicht im gleichen Maße reduziert (1. Versuchswoche 86 ml/kg KG und Tag; 9. Versuchswoche 60 ml/kg KG und Tag).

Die Befunde deuten auf eine relativ knappe Wasserversorgung der Mastkälber unter Versuchsbedingungen hin. Ihre Bedeutung für die Erstellung physiologisch sicherer Futterrezepturen und Tränksysteme wird diskutiert.

S U M M A R Y

In a total of 12 male veal calves, the renal excretion of sodium, chloride, potassium, calcium, phosphate and magnesium was evaluated during 9 weeks.

The average body weight of the animals was 72 kg at the beginning and 160 kg at the end of experiment.

The urinary excretion of sodium, chloride, potassium, calcium, phosphate and magnesium was measured for each single experimental day. The following mean values are calculated from these daily data.

The mean renal excretion rate (% of intake $\pm$ s) was:

sodium	85.0 ± 26.4
chloride	78.7 ± 12.8
potassium	86.8 ± 10.9
calcium	0.4 ± 0.3

The average excretion rate for phosphate can not be given, because the renal excretion of this electrolyte increased distinctly during the experimental period (1st week of experiment: $22.9 \% \pm 6.5$; 8th week of experiment: $41.9 \% \pm 6.5$ of P-intake).

In contrast to the other electrolytes, renal magnesium excretion showed considerable differences between the calves (range: $8.1 \% \pm 3.3$ to $36.9 \% \pm 4.2$ of Mg-intake), but remained rather constant for the individual animal.

The electrolyte intake (total of Na, Cl, K, Ca, P and Mg) increased from 763 mg/kg BW and day to 843 mg/kg BW and day (+10 %) during experiment. Correspondingly the increase of daily electrolyte

excretion was from 425 to 478 mg/kg BW (+12 %). On the other hand the electrolyte concentration in urine was 2180 mg/100 ml at the end of experiment which is the threefold concentration obtained during first week of experiment (730 mg/100 ml).

This increase was caused almost alone by the strong reduction of urine formation (from 58 ml/kg BW and day during the 1st experimental week to 22 ml/kg BW and day at the 9th experimental week).

On the contrary, the water intake was not reduced to the same extent (1st week: 86 ml/kg BW and day; 9th week: 60 ml/kg BW and day).

The results point to a relatively poor water supply of veal calves under conditions of this experiment. This aspect should be considered in formulating milkreplacer diets and feeding schedules.

10 L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. AGARWALA, O.N., NATH, K., MAHADEVAN, V., 1971
Phosphorus requirement of the buffalo
(*Bos bubalis*) for maintenance
J. agric. Sci. 76 , 83
2. ANDERSON, R.S., PICKERING, E.C., 1962
Effects of intravenous infusion of
potassiumchloride on potassium and
sodium excretion and on the rate of
urine formation in the cow
J. Physiol. 164 , 180
3. BÄR, H.J., SEIDEL, H., MÜLLER, J., 1970
Arch. exp. Veterinärmed. 24 , 889
zit. n. Seidel, H., Gürtler, H., 1974:
Weidetetanie, VEB Gustav Fischer Ver-
lag, Jena
4. BAILEY, C.B., 1961
Saliva secretion and its relation to
feeding in cattle
Br. J. Nutr. 15 , 443
5. BAILEY, C.B., BALCH, C.C., 1961
Saliva secretion and its relation to
feeding in cattle
Br. J. Nutr. 15 , 383
6. BECKER, M., 1971
Mineralstoffbedarfsnormen für Rinder
Landwirtsch. Forsch. 24 , 225

7. BELL, F.R., 1972

The relative importance of the sodium
ion in homeostatic mechanisms in
ruminant animals
Proc. Roy. Soc. Med. 65 , 631

8. BLAXTER, K.L., WOOD, W.A., 1953

some observations on the biochemical
and physiological events associated
with diarrhoea in calves
Vet. Rec. 65 , 889

9. BÖHME, H., 1970

Untersuchungen über den Säure-Basen-
haushalt hochleistender Milchkühe
-insbesondere über die Verschiebung
nach der physiologisch sauren Seite
bei hohem Kraftfutterverzehr
Diss. Agrarwiss. Fakultät
d. Univ. Kiel

10. BOEHNCKE, E., 1971

Methodische Studien zur Elektrolyt-
ausscheidung bei männlichen Saugkäl-
bern und Jungbullen
Med. vet. Diss. Univ. München

11. BOEHNCKE, E., 1972

Harnreaktion bei Mastkälbern
Unveröffentl. Versuchsergebnisse

12. BOEHNCKE, E., 1973

Tagesschwankungen der anorganischen
P-Konzentration im Serum von Mastkäl-
bern
Unveröffentl. Versuchsergebnisse

13. BOEHNCKE, E., 1974
Magnesiumkonzentration im Serum
von Mastkälbern
Unveröffentl. Versuchsergebnisse
14. BOEHNCKE, E., 1974 a
Natriumkonzentration im Milchaustausch-
futter
Unveröffentl. Untersuchungsergebnisse
15. BOEHNCKE, E., 1975
Zur renalen Phosphatausscheidung milch-
ernährter Mastbullen
Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futter-
mittelkde. 34 , 273
16. BOEHNCKE, E., TIEWS, J., 1971
Untersuchungen über die renale Phosphat-
ausscheidung des Rindes
Landwirtsch. Forsch. 24 , 83
17. BRAITHWAITE, G.D., 1974
The effect of changes of dietary
calcium concentration on calcium
metabolism in sheep
Br. J. Nutr. 31 , 319
18. BRAITHWAITE, G.D., GLASCOCK, R.F.,
RIAZUDDIN, SH., 1969
Calcium metabolism in lactating ewes
Br. J. Nutr. 23 , 827
19. BRAITHWAITE, G.D., GLASCOCK, R.F.,
RIAZUDDIN, SH., 1970
Calcium metabolism in pregnant ewes
Br. J. Nutr. 24 , 661

20. BRENNER, B.M., BERLINER, R.W., 1973
The transport of potassium
in : Handbook of Physiology,
Section 8 : Renal Physiology
American Physiological Society,
Washington
21. CARROLL, E., PECHET, M., 1967
Stimulation of bone formation
by inorganic phosphate and inhibition
of bone resorption by thyreocalcitonin
J. Clin. Invest. 46 , 1043
22. CHAPIN, R.E., SMITH, S.E., 1967
Calcium requirement of growing rabbits
J.Anim.Sci. 26 , 67
23. CHEEKE, P.R., AMBERG, J.W., 1973
Comparative calcium excretion by rats
and rabbits
J. Anim. Sci. 37 , 450
24. CHICCO, C.F., AMMERMAN, C.B., FEASTER, J.P.,
DUNAVANT, B.G., 1973
Nutritional interrelationships of
dietary calcium, phosphorus and
magnesium in sheep
J. Anim. Sci. 36 , 986
25. COLLE, E., AYOUB, E., RAILE, R., 1958
Hypertonic dehydration (hypernatremia)
: The role of feedings high in solutes
Pediatrics, 22 , 5

26. DEVLIN, T.J., ROBERTS, W.K., 1963
Dietary maintenance requirement of
sodium for wether lambs
J. Anim. Sci. 22 , 648
27. DE WARDENER, H.E., 1973
The control of sodium excretion
in : Handbook of Physiology,
Section 8 : Renal Physiology
American Physiological Society,
Washington
28. DEWHURST, J.K., HARRISON, F.A., KEYNES, R.D., 1968
Renal excretion of potassium in the sheep
J. Physiol. 195 , 609
29. DOMAGK, G.F., 1972
Ernährung
in : Ernährung, Verdauung, Inter-
mediärstoffwechsel, Gauer/Kramer/Jung :
Physiologie des Menschen, Bd. 8, Urban
und Schwarzenberg, München, Berlin, Wien
30. EARLY, L.E., SCHRIER, R.W., 1973
Intrarenal control of sodium excretion
by hemodynamic and physical factors
in : Handbook of Physiology, Section 8 :
Renal Physiology, American Physiological
Society, Washington
31. FISCHER, B., 1973
Med.vet.Diss.Univ. Leipzig
zit.n. Seidel, H., Gürtler, H., 1974 :
Weidetetanie, VEB Gustav Fischer
Verlag, Jena

32. FISHER, E.W., 1960

The concentration of some of the
inorganic constituents in the plasma
of healthy Ayrshire cattle
Br. J. Nutr. 14 , 9

33. GEYER, H., DREPPER, K., 1973

Mikrobielle Einwirkungen auf die Ver-
dauung beim Pferd
in : Giesecke, Henderickx : Biologie
und Biochemie der mikrobiellen Verdauung
BLV-Verlagsgesellschaft,
München, Bern, Wien

34. GROPP, J., BOEHNCKE, E., SCHULZ, V., 1974

Harnausscheidung bei älteren Mast-
kälbern
Unveröffentl. Versuchsergebnisse

35. GROPP, J., BOEHNCKE, E., SCHULZ, V.,

SANDERSLEBEN, J.v., GEISEL, O., HÄNICHEN, Th., 1975

Die Wirkung von 17-beta-Östradiol und
Trenbolonacetat in unterschiedlicher
Dosierung auf verschiedene physiologische
und morphologische Parameter (Provoka-
tionsversuch)
in : Fortschr. in der Tierphysiol.
und Tierernährg., Beiheft z.Z. Tier-
physiol. Tierernährg. u. Futtermittelkde.,
im Druck

36. GÜTTE, J.O., HELFFERICH, B., Rieger, H.J.,

LENKEIT, W., 1967/68

Langfristige Untersuchungen über den
Umsatz von N,P und Ca und über die
energetische Futterverwertung bei
2 Milchkühen
Z. Tierphysiol. Tierernährg. u.
Futtermittelkde. 23 , 186

37. GYGAX, A., GERBER, H., 1973
Normalwerte und Altersabhängigkeit
des Haematokriten, der Serumkonzentrationen von Gesamt-Bilirubin, Calcium und anorganischen Phosphaten und der Aktivität der alkalischen Serum-Phosphatase des Pferdes
Schweiz. Arch. Tierheilk. 115 , 321
38. HANNA, S., MACINTYRE, J., 1963
The influence of aldosterone on magnesium metabolism
Lancet 2 , 348
39. HANSARD, S.L., LYKE, W.A., CROWDER, H.M., 1961
Absorption, excretion and utilisation of calcium by swine
J. Anim. Sci. 20 , 292
40. HELFFERICH, B., BAUER, R., LENKEIT, W., 1965
Langfristige Untersuchungen über den Einfluß von natriumarmer Ernährung auf den Stoffwechsel von Milchkühen
(1.Mitteilung)
Z.Tierphysiol.Tierernährg. u. Futtermittelkde. 20 , 95
41. HELFFERICH, B., LENKEIT, W., 1965
Beitrag zur Frage der Natriumversorgung von Milchkühen
Naturwissenschaften 52 , 666
42. HINTZ, H.F., SCHRYVER, H.F., 1973
Magnesium, calcium and phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of magnesium
J. Anim. Sci. 37 , 927

43. HYLDGAARD-JENSEN, J., SIMENSEN, M.G., 1966
Grutforgiftning hos kvaeg
Nord. Vet.-Med. 18 , 73
44. IRVING, J.T., 1973
Calcium and phosphorus metabolism
Academic Press, New York and London
45. JONES, D.I.H., MILES, D.G., SINCLAIR, K.B., 1967
Some effects of feeding sheep on low-
sodium hay with and without sodium
supplement
Br. J. Nutr. 21 , 391
46. JONES, J.E., DESPER, P.C., SHANE, S.R.,
FLINK, E.B., 1966
Magnesium metabolism in hyperthyroidism
and hypothyroidism
J. Clin. Invest. 45 , 891
47. KAEMMERER, K., BARKE, E., SEIDLER, M.J., 1972
Verträglichkeit von Harnstoff bei früh-
abgesetzten Kälbern
Vet.-Med. Nachr. 4 , 287
48. KAMETAKA, M., 1973
Mikrobiologie der Verdauung beim
Kaninchen
in: Giesecke, Hendrickx: Biologie
und Biochemie der mikrobiellen Ver-
dauung
BLV-Verlagsgesellschaft,
München, Bern, Wien
49. KEMP, A., 1967/68
Die Mineralstoffversorgung von Milch-
kühen in der Weidezeit
Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futter-
mittelkde. 23 , 267

50. KEYNES, R.D., HARRISON, F.A., 1967
Some aspects of potassium metabolism
in the ruminant
Vet. Rec. 81 , 244
51. KRAMER, H.J., GONICK, H.C., KRÜCK, F., 1972
Übersichten: Natriuretisches Hormon
Klin. Wschr. 50 , 893
52. LARAGH, J.H., SEALEY, J.E., 1973
The renin-angiotensin-aldosteron
hormonal system and regulation of
sodium, potassium and blood pressure
homeostasis
in: Handbook of Physiology, Section 8:
Renal Physiology
American Physiological Society,
Washington
53. LASSITER, W.E., GOTTSCHALK, C.W., MYLLE, M. 1963
Micropuncture study of renal tubular
reabsorption of calcium in normal rodents
Am. J. Physiol. 204 , 771
54. LENGEMANN, F.W., COMAR, C.L., WASSERMAN, R.H. 1957
Absorption of calcium and strontium from
milk and nonmilk diets
J. Nutr. 61 , 571
55. LENKEIT, W., GÜTTE, J.O., KIRCHHOFF, W.,
SOEHNGEN, F.K., 1959
Zur Abhängigkeit des Mineralumsatzes
unter Beachtung der negativen Ca-P-
Anfangsbilanz während der Laktation
von der Mineralstoffversorgung während
der Gravidität
Z. Tierphysiol. Tierernährg. und
Futtermittelkde. 14 , 3

56. L'ESTRANGE, J.L., MURPHY, F., 1972
Effects of dietary mineral acids on
voluntary food intake, digestion,
mineral metabolism and acid-base
balance of sheep
Br. J. Nutr. 28 , 1
57. LOFGREEN, G.P., KLEIBER, M., LUICK, J.R., 1952
The metabolic fecal phosphorus
excretion of the young calf
J. Nutr. 47 , 571
58. LOMBA, F., PAQUAY, R. BIENFET, V., LOUSSE, A., 1969
Statistical research on the fate of
dietary mineral elements in dry and
lactating cows (VI.Sodium)
J. agric. Sci. 73 , 453
59. LONG, T.A., TILLMAN, A.D., NELSON, A.B.,
GALLUP, W.D., DAVIS, B., 1957
Availability of phosphorus in mineral
supplements for beef cattle
J. Anim. Sci. 16 , 444
60. MALNIC, G., AIRES, M., GIEBISCH, G., 1971
Potassium transport across renal distal
tubules during acid-base disturbances
Am. J. Physiol. 221 , 1192
61. MASON, G.D., SCOTT, D., 1972
Renal excretion of potassium and
potassium tolerance in the pig
Q. Jl. exp. Physiol. 57 , 393

62. MAYER, G.P., RAMBERG, C.F., KRONFELD, D.S., 1968
Parathyroid influence upon phosphorus
balance and homeostasis in cows
J. Nutr. 95 , 202
63. MEYER, H., 1963
Magnesiumstoffwechsel, Magnesiumbedarf
und Magnesiumversorgung bei den Haus-
tieren
Verlag M. und H. Schaper, Hannover
64. MEYER, H., 1971
Zur Beurteilung der Mineralstoff- und
Spurenelementversorgung beim Rind
Mitt.f. Tierärzte 24 , 3
65. MEYER, J.H., WEIR, W.C., 1954
The tolerance of sheep to high intakes
of sodium chloride
J. Anim. Sci. 13 , 443
66. MILLER, E.R., ULLREY, D.E., ZUTAUT, C.L.,
BALTZER, B.V., SCHMIDT, D.A., HOEFER, J.A.,
LUECKE, R.W., 1962
Calcium requirement of the baby pig
J.Nutr. 77 , 7
67. MILLER, E.R., ULLREY, D.E., ZUTAUT, C.L.,
HOEFER, J.A., LUECKE, R.W., 1964
Mineral balance studies with the
baby pig : Effects of dietary phosphorus
level upon calcium and phosphorus balance
J. Nutr. 82 , 111

68. MORRIS, J.G., GARTNER, R.J.W., 1971
The sodium requirements of growing
steers given an all-sorghum grain
ration
Br. J. Nutr. 25 , 191
69. MOSELEY, G., JONES, D.I.H., 1974
The effect of sodium chloride
supplementation on the mineral
nutrition in sheep
Proc. Nutr. Soc. 33 , 87 A
70. MUDGE, G.H., BERNDT, W.O., VALTIN, H., 1973
Tubular transport of urea, glucose,
phosphate, uric acid, sulfate and
thiosulfate
in : Handbook of Physiology, Section 8 :
Renal Physiology
American Physiological Society,
Washington
71. MUNTWYLER, E., 1973
Elektrolytstoffwechsel und Säure-
Basen-Gleichgewicht
Walter de Gruyter, Berlin, New York
72. NELSON, A.B., MACVICAR, R.W., ARCHER, W.M.,
MEISKE, J.C., 1955
Effect of a high salt intake on the
digestibility of ration constituents
and on nitrogen, sodium and chloride
retention by steers and wethers
J. Anim. Sci. 14 , 825
73. Nutrition Reviews, 1973
Control of vitamin D metabolism
vol. 31 , 187

74. O'KELLEY, R.E., FONTENOT, J.R., 1969
Effects of feeding different magnesium
levels to drylot-fed lactating beef cows
J. Anim. Sci. 29 , 959
75. OSLAGE, W., OSLAGE, H.J., 1958
Über den Einfluß von AIV-Silage auf
den Mineralstoffwechsel und den Säure-
Basenhaushalt von Milchkühen
Z. Tierphysiol. Tierernährg. u.
Futtermittelkde. 13 , 33
76. OTTO, E., 1958
Biometrie
Deutscher Bauernverlag, Berlin
77. PAQUAY, R., LOMBA, F., LOUSSE, A., BIENFET, V., 1968
Statistical research on the fate of dietary
mineral elements in dry and lactating
cows (I calcium)
J. agric. Sci. 71 , 173
78. PAQUAY, R., LOMBA, F., LOUSSE, A., BIENFET, V., 1969
Statistical research on the fate of dietary
mineral elements in dry and lactating
cows (V potassium)
J. agric. Sci. 73 , 445
79. PAQUAY, R., DE BAERE, R., LOUSSE, A., 1970
Statistical research on the fate of
water in the adult cow (I dry cows)
J. agric. Sci. 74 , 423

80. PFEFFER, E., BERTZBACH, J., HELFFERICH, B.,
LENKEIT, W., 1965

Untersuchungen zur Beeinflussung des
Stoffwechsels durch hohe Kochsalzzu-
fütterung bei der Milchkuh (1.Mitteilung)
Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futter-
mittelkde. 20 , 305

81. PICKERING, E.C., 1965

The role of the kidney in sodium and
potassium balance in the cow
Proc. Nutr. Soc. 24 , 73

82. PRESTON, R.L., PFANDER, W.H., 1964 .

Phosphorus metabolism in lambs fed
varying phosphorus intakes
J. Nutr. 83 , 369

83. PUSCHETT, J.B., AGUS, Z.S., SENESKY, D.,
GOLDBERG, M., 1972

Effects of saline loading and aortic
obstruction on proximal phosphate
transport
Am. J. Physiol. 223 , 851

84. RAU, H., 1973

Calcium- und Phosphorgehalt im Blut-
serum klinisch gesunder und fest-
liegender Kühe des Lehr- und Ver-
suchsgutes Oberschleißheim
Vet. med. Diss., Univ. München

85. SAID, A.H., ZAKI, K., EL- AZAB, E.A.,
SHAKER, M., 1964
Effect of age, pregnancy and certain
pathological conditions on serum levels
of calcium, phosphorus, total proteins
and protein- bound polysaccharides in
Friesian Cattle
Zbl. Vet. Med., Reihe A, 11 , 685
86. SCHNEIDER, M., 1973
Physiologie des Menschen
korrig. Nachdruck d. 16. Aufl.
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg,
New York
87. SCHRYVER, H.F., CRAIG, P.H., HINTZ, H.F., 1970
Calcium metabolism in ponies fed
varying levels of calcium
J. Nutr. 100 , 955
88. SCHRYVER, H.F., HINTZ, H.F., CRAIG, P.H., 1971
Phosphorus metabolism in ponies fed
varying levels of phosphorus
J. Nutr. 101 , 1257
89. SCHUHNECHT, W., SCHINKEL, H., 1963
Beitrag zur Beseitigung der Anregungs-
beeinflussung bei flammenspektral-
analytischen Untersuchungen
Z. Anal. Chem. 194 , 161

90. SCHULZ, E., OSLAGE, H.J., DAENICKE, R., 1974
Untersuchungen über die Zusammensetzung
der Körpersubstanz sowie den Stoff- und
Energieansatz bei wachsenden Mastbullen
Fortschr. in der Tierphysiol. und Tier-
ernährg., Beiheft 4 z.Z. Tierphysiol.
Tierernährg. u. Futtermittelkde.
91. SCOTT, D., 1969
The effects of intravenous infusion of
KCl or HCl on the renal excretion of
potassium in sheep
Q. Jl. exp. Physiol. 54 , 25
92. SCOTT, D., 1972
Excretion of phosphorus and acid in
the urine of sheep and calves fed
either roughage or concentrate diets
Q. Jl. exp. Physiol. 57 , 379
93. SCOTT, D., WITHELAW, F.G., KAY, M., 1971
Renal excretion of acid in calves
fed either roughage or concentrate
diets
Q. Jl. exp. Physiol. 56 , 18
94. SEARCY, R.L. 1969
Diagnostic Biochemistry
McGraw-Hill Book Company, New York,
Toronto, Sydney, London
95. SEIDEL, H., GÜRTLER, H., 1974
Weidetetanie
VEB Gustav Fischer Verlag, Jena

96. SHARP, G.W.G., LEAF, A., 1973
Effects of aldosterone and its mechanism
on sodium transport
in : Handbook of Physiology,
Section 8 : Renal Physiology
American Physiological Society,
Washington
97. SICKINGER, K., 1973
Quantitative Stuhlanalyse
Med.Klin. 68 , 1243
98. SLATER, J.E., 1961
Retentions of nitrogen and minerals
by babies one week old
Br. J. Nutr. 15 , 83
99. SMITH, A.H., KLEIBER, M., BLACK, A.L.,
LOFGREEN, G.P., 1955
Transfer of phosphate in the digestive
tract
J.Nutr. 57 , 507
100. STRICKLER, J.C., THOMPSON, D.D., KLOSE, R.M.,
GIEBISCH, G., 1964
Micropuncture study of inorganic phosphate
excretion in the rat
J. Clin. Invest. 43 , 1596
101. SUTCLIFFE, H.S., MARTIN, T.J., EISMAN, J.A.,
PILCZYK, R., 1973
Binding of parathyroid hormone to bovine
kidney-cortex plasma membranes
Biochem. J. 134 , 913

102. SUTTLE, N.F., FIELD, A.C., 1966
Studies on magnesium in ruminant
nutrition
Br. J. Nutr. 20 , 609
103. TEPPERMAN, J., 1972
Physiologie des Stoffwechsels und
des Endokriniums
F.K.Schattauer Verlag, Stuttgart, New York
104. TILLMAN, A.D., BRETHOUR, J.R., HANSRAD, S.L, 1959
Comparative procedures for measuring the
phosphorus requirement of cattle
J. Anim. Sci. 18 , 249
105. ULLREY, D.E., MILLER, E.R., BRENT., B.E.,
BRADLEY, B.L., HOEFER, J.A., 1967
Swine hematology from birth to
maturity
J. Anim. Sci. 26 , 1024
106. ULLRICH, K.J., 1973
"Anatomie" eines Epithels
Analyse des Stofftransportes durch den
proximalen Nierentubulus
Naturwissenschaften 60 , 290
107. UNSHELM, J., FLOCK, D., 1967
Die Konzentration des anorganischen
Phosphors und die Aktivität der
alkalischen Phosphatase im Blutplasma
von Rindern in Abhängigkeit vom Alter
und anderen Einflußfaktoren
Zbl. Vet. Med., Reihe A, 14 , 528

108. VAN ES, A.J.H., VAN WEERDEN, E.J., FRENS,
A.M., 1966
Wärmeproduktion, Wasserverdunstung
und Energiestoffwechsel bei Mastkälbern,
gefüttert mit einem flüssigen Milch-
ersatzfutter
Z. Tierphysiol. Tierernährg. u.
Futtermittelkde. 21 , 25
109. VAUGHAN, J.M., 1970
The physiology of bone
Chlarendon Press, Oxford
110. VIPPERMAN, P.E., PEO, E.R., CUNNINGHAM,
P.J., 1974
Effect of dietary calcium and phosphorus
level upon calcium, phosphorus and
nitrogen balance in swine
J. Anim. Sci. 38 , 758
111. VOGEL, G., 1962
Beiträge zur Kenntnis der Nieren-
physiologie einiger Haussäugetiere
Beih. 3, Zbl. Vet. Med.
112. WALKER, D.M., 1972
Calcium and phosphorus retention by
the milk-fed lamb, with estimates of
the endogenous losses
J. agric. Sci. 79 , 171
113. WALSER, M., 1971
Calcium- sodium interdependence in
renal transport
in : Renal Pharmacology
Butterworths, London

114. WALSER, M., 1973
Divalent cations : physicochemical state
in glomerular filtrate and urine and
renal excretion
Handbook of Physiology, Section 8 :
Renal Physiology
American Physiological Society, Washington
115. WEHRLE, E., SCHIEVELBEIN, H., 1957
Niere und Harn
in : Flaschenträger und Lehnartz:
Physiologische Chemie, Bd. II/ 2 b
Springer Verlag, Berlin, Göttingen,
Heidelberg
116. WEN, S.F., 1974
Micropuncture studies of phosphate trans-
port in the proximal tubule of the dog
J.Clin. Invest. 53 , 143
117. WHITTEN, E.H., PHILLIPS, R.W., 1971
In vitro intestinal exchanges of
 Na^+ , K^+ , Cl^- , $^3\text{H}_2\text{O}$ in experimental
bovine neonatal enteritis
Am. J. Dig. Diseases. 16 , 891
118. WISE, M.B., ORDOVEZA, A.L., BARRICK, E.R., 1963
Influence of variations in dietary calcium
: phosphorus ratio on performance and
blood constituents of calves
J. Nutr. 79 , 79

119. WISE, M.B., SMITH, S.E., BARNES, L.L., 1958
The phosphorus requirement of calves
J. Anim. Sci. 17 , 89
120. YOUNG, V.R., RICHARDS, E.P.C., LOFGREEN, G.P.,
LUICK, J.R., 1966
Phosphorus depletion in sheep and the
ratio of calcium to phosphorus in the
diet with reference to calcium and
phosphorus absorption
Br. J. Nutr. 20 , 783

L E B E N S L A U F

Am 8. Juni 1946 wurde ich, Martin Wendl, als Sohn des Rechtsanwaltes Dr. Dr. Martin Richter und dessen Ehefrau Rosemarie, geborene Wendl, in Passau geboren.

Im Herbst 1952 trat ich in Passau in die Grundschule ein und besuchte ab September 1957 das Gymnasium Leopoldinum in Passau. Dort legte ich im Juli 1966 die Reifeprüfung ab.

Nach einer Militärzeit von 2 Jahren begann ich im Oktober 1968 mit dem Studium der Tiermedizin an der Universität München.

Hier bestand ich im Oktober 1973 mein Staatsexamen und erhielt im selben Monat meine Approbation.

D A N K S A G U N G

Nach Beendigung der Untersuchungen möchte ich Herrn Prof. em. Dr. Dr. Dr. h.c. mult. Johannes Brüggemann für die Überlassung von Arbeitsmöglichkeiten, sowie für das angenehme Arbeitsklima im Institut herzlich danken.

Mein Dank gilt auch Herrn Priv. Doz. Dr. Jürgen Gropp für die Überlassung des Themas, sowie Herrn Dr. Engelhard Boehncke für seine Hilfen bei der Durchführung der Experimente.

Abschließend möchte ich noch Herrn Walter Bunge für die sorgfältige Betreuung der Versuchstiere danken.

